

(translation of the front page of the priority document of
Japanese Patent Application No. 2001-002436)



PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the
following application as filed with this Office.

Date of Application: January 10, 2001

Application Number : Patent Application 2001-002436

Applicant(s) : Canon Kabushiki Kaisha

December 21, 2001
Commissioner,
Patent Office

Kouzo OIKAWA

RECEIVED
JUL 05 2002
GROUP 3600

Certification Number 2001-3110653

CFM 2445 VS

U.S. Appln. No. 09/990,350

日本国特許庁

JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 1月 10日

出願番号

Application Number:

特願 2001-002436

出願人

Applicant(s):

キヤノン株式会社

RECEIVED

JUL 05 2002

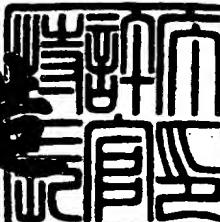
GROUP 3600

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2001年12月21日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕三



【書類名】 特許願
【整理番号】 4215010
【提出日】 平成13年 1月10日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 F16F 15/02
G03F 7/20
【発明の名称】 能動制振装置、その制御方法および能動制振装置を備えた露光装置
【請求項の数】 33
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社
内
【氏名】 間山 武彦
【特許出願人】
【識別番号】 000001007
【氏名又は名称】 キヤノン株式会社
【代理人】
【識別番号】 100086287
【弁理士】
【氏名又は名称】 伊東 哲也
【選任した代理人】
【識別番号】 100103931
【弁理士】
【氏名又は名称】 関口 鶴彦
【先の出願に基づく優先権主張】
【出願番号】 特願2000-359969
【出願日】 平成12年11月27日
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 002048

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 能動制振装置、その制御方法および能動制振装置を備えた露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 制振対象物に固定され、推力を発生するアクチュエータと、前記アクチュエータに接続され、前記制振対象物に対して相対的に運動する慣性負荷と、

駆動指令信号に応じて前記アクチュエータを駆動する駆動回路とを有し、前記アクチュエータが発生する推力により前記慣性負荷を駆動する際に発生する駆動反力によって前記制振対象物に制御力を加えて機器の振動を低減する制振ユニットを備える能動制振装置。

【請求項 2】 前記アクチュエータが直線方向に推力を発生して前記慣性負荷を直線方向に駆動することを特徴とする請求項 1 に記載の能動制振装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の能動制振装置において、前記制振対象物の振動を検出する振動検出手段と、

前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に補償演算処理を施す補償演算手段とを備えたことを特徴する能動制振装置。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の能動制振装置において、前記補償演算手段は、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して、非線形補償演算を施すものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項 5】 請求項 3 または 4 に記載の能動制振装置において、前記補償演算手段によって得られた信号に基いて前記制振ユニットを駆動することにより前記制振対象物の振動を低減するものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項 6】 請求項 4 または 5 に記載の能動制振装置において、前記非線形補償演算は、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償、位相進み補償、位相遅れ補償などの少なくともいずれかを含む線形補償演算を施し、さらにその信号に対して非線形補償演算を施すものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項 7】 請求項 4 ~ 6 のいずれかに記載の能動制振装置において、前

記非線形補償演算は、単調増加または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対してより絶対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従うものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項8】 駆動手段を備えた機器が制振対象物に搭載された場合、あるいは該駆動手段を備えた機器と制振対象物とが高い剛性で締結された場合において、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号を入力として該信号に適切な補償演算処理を施す前向き補償演算手段を備え、該前向き補償演算手段の出力信号に基いて、前記制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の振動を低減する機能を備えたことを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の能動制振装置。

【請求項9】 請求項8に記載の能動制振装置において、該前向き補償演算手段は、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、非線形補償演算を施すものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項10】 請求項9に記載の能動制振装置において、前記非線形補償演算は、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償、位相進み補償、位相遅れ補償などの少なくともいずれかを含む線形補償演算を施し、さらにその信号に対して非線形補償演算を施すものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項11】 請求項9または10に記載の能動制振装置において、前記非線形補償演算は、単調増加、または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対してより絶対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従うものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項12】 前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して非線形補償演算を施して得た信号と、駆動手段を備えた前記機器の動作状態およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、非線形補償演算を施して得た信号と、の少なくともいずれか一方の信号に基いて請求項1または2に記載の制振ユニットを制御することで、前記制振対象物の振動を低減することを特徴とする能動制振装置の制御方法。

【請求項13】 制振対象物に固定され、回転方向にトルクを発生する回転アクチュエータと、

前記回転アクチュエータに接続され、前記制振対象物に対して相対的に回転方向に運動する慣性要素と、

駆動指令信号に応じて前記回転アクチュエータを駆動する駆動回路とを有し、

前記回転アクチュエータが発生するトルクにより前記慣性要素を回転駆動する際に発生する駆動反力によって前記制振対象物に制御トルクを加えて機器の振動を低減する回転制振ユニットを備えたことを特徴とする能動制振装置。

【請求項14】 請求項13に記載の能動制振装置において、前記制振対象物の回転運動方向の振動を検出する回転振動検出手段と、前記回転振動検出手段で検出された前記制振対象物の回転振動に相当する信号に補償演算処理を施す回転振動補償演算手段とを備えたことを特徴とする能動制振装置。

【請求項15】 請求項14に記載の能動制振装置において、前記回転振動補償演算手段によって得られた信号に基いて前記回転制振ユニットを駆動することにより、前記制振対象物の回転振動を低減するものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項16】 駆動手段を備えた機器の動作によって励振される構造物の振動を低減する能動制振装置であって、

該駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号を入力としてこの信号に適切な補償演算処理を施す第2の前向き補償演算手段を備え、該第2の前向き補償演算手段の出力信号に基いて、前記回転制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の振動を低減する機能を備えたことを特徴とする請求項13～15のいずれかに記載の能動制振装置。

【請求項17】 請求項1～11または請求項13～16のいずれかに記載の能動制振装置において、前記慣性負荷を所定中立位置に復元するように作用する剛性付与手段を備えたものであることを特徴とする能動制振装置。

【請求項18】 回転振動検出手段で検出された前記制振対象物の回転方向の振動に相当する信号に対して非線形補償演算を施して得た信号と、駆動手段を備えた前記機器の動作状態およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、

非線形補償演算を施して得た信号と、の少なくともいずれか一方の信号に基いて請求項13に記載の回転制振ユニットを制御することで、前記制振対象物の回転振動を低減することを特徴とする能動制振装置の制御方法。

【請求項19】 請求項1～11もしくは請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置が、基板、もしくは原版を載置してその精密位置決め動作を行うステージ装置が搭載された定盤、または該定盤に搭載された構造物に作用して、該定盤または構造物の振動を低減することを特徴とする露光装置。

【請求項20】 請求項1～11もしくは請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置、または請求項12もしくは18に記載の能動制振装置の制御方法のうちの少なくともいずれかを用いたことを特徴とする露光装置。

【請求項21】 請求項1～11のいずれかに記載の能動制振装置と、請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置とを併用して、制振対象物の振動を低減する能動制振装置を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項22】 片持ち支持構造の構造物を有し、請求項1～11または請求項13～17の少なくともいずれかに記載の能動制振装置を具備する露光装置であって、該能動制振装置は、前記片持ち支持構造の構造物に取付けられ、この構造物の、片持ち支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するように作用するものであることを特徴とする露光装置。

【請求項23】 片持ち支持構造の構造物を有し、請求項1～11または請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置を具備する露光装置であって、該能動制振装置は、前記片持ち支持構造の構造物における、その片持ち支持点から極力離れた位置で、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の方向の接線方向に作用するように配置され、該支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するように作用するものであることを特徴とする露光装置。

【請求項24】 片持ち支持構造の構造物を有し、請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置を具備する露光装置であって、該能動制振装置は、前記回転制振ユニットの発生トルクが作用する中心軸の延長線が、前記片持ち支持構造の構造物において、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の回転中心位置を通るように配置され、該支持点を中心とした構造物の回転振動を低

減・抑制するように作用するものであることを特徴とする露光装置。

【請求項25】 片持ち支持構造の構造物を有し、請求項22～24のいずれかに記載の能動制振装置を具備する露光装置であって、前記片持ち支持構造の構造物は、原版上の回路パターンを光学レンズを介して感光基板に露光するための露光光を照射する照明光学系を構成する機械構造体であることを特徴とする露光装置。

【請求項26】 請求項1～11または請求項13～17のいずれかに記載の能動制振装置を具備する露光装置であって、該能動制振装置は、露光装置を設置する設置基礎側構造物に設置され、該設置基礎側構造物の振動を低減することで、該設置基礎側構造物から露光装置本体に伝達する振動を低減するものであることを特徴とする露光装置。

【請求項27】 請求項19～26のいずれかに記載の露光装置を含む各種プロセス用の製造装置群を半導体製造工場に設置する工程と、該製造装置群を用いて複数のプロセスによって半導体デバイスを製造する工程とを有することを特徴とする半導体デバイス製造方法。

【請求項28】 前記製造装置群をローカルエリアネットワークで接続する工程と、前記ローカルエリアネットワークと前記半導体製造工場外の外部ネットワークとの間で、前記製造装置群の少なくとも1台に関する情報をデータ通信する工程とをさらに有することを特徴とする請求項27に記載の半導体デバイス製造方法。

【請求項29】 前記露光装置のベンダもしくはユーザが提供するデータベースに前記外部ネットワークを介してアクセスしてデータ通信によって前記製造装置の保守情報を得る、もしくは前記半導体製造工場とは別の半導体製造工場との間で前記外部ネットワークを介してデータ通信して生産管理を行うことを特徴とする請求項28に記載の半導体デバイス製造方法。

【請求項30】 請求項19～26のいずれかに記載の露光装置を含む各種プロセス用の製造装置群と、該製造装置群を接続するローカルエリアネットワークと、該ローカルエリアネットワークから工場外の外部ネットワークにアクセス可能にするゲートウェイを有し、前記製造装置群の少なくとも1台に関する情報

をデータ通信することを可能にしたことを特徴とする半導体製造工場。

【請求項31】 半導体製造工場に設置された請求項19～26のいずれかに記載の露光装置の保守方法であって、前記露光装置のベンダもしくはユーザが、半導体製造工場の外部ネットワークに接続された保守データベースを提供する工程と、前記半導体製造工場内から前記外部ネットワークを介して前記保守データベースへのアクセスを許可する工程と、前記保守データベースに蓄積される保守情報を前記外部ネットワークを介して半導体製造工場側に送信する工程とを有することを特徴とする露光装置の保守方法。

【請求項32】 請求項19～26のいずれかに記載の露光装置において、ディスプレイと、ネットワークインターフェースと、ネットワーク用ソフトウェアを実行するコンピュータなどをさらに有し、露光装置の保守情報をコンピュータネットワークを介してデータ通信することを可能にしたことを特徴とする露光装置。

【請求項33】 前記ネットワーク用ソフトウェアは、前記露光装置が設置された工場の外部ネットワークに接続され前記露光装置のベンダもしくはユーザが提供する保守データベースにアクセスするためのユーザインターフェースを前記ディスプレイ上に提供し、前記外部ネットワークを介して該データベースから情報を得ることを可能にすることを特徴とする請求項32に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体露光装置等を構成する構造物に発生する剛体振動や、構造共振などの振動を安定かつ迅速に制振することで装置の良好な性能を実現するのに適した能動制振装置、能動制振方法およびこれを用いた露光装置等に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体露光装置の高精度化に伴い、より高性能な除振・制振装置が求められている。特に半導体露光装置においては、露光に悪影響を及ぼす振動が露光用ステージや露光装置本体を構成する構造体に発生しないようにする必要がある。その

ためには、露光装置本体を床などの装置設置基礎からの振動をはじめとする外部振動から極力絶縁するとともに、装置本体に搭載されたXYステージなどの駆動手段を有する機器の動作によって発生する振動を速やかに低減する必要がある。また、露光装置本体に搭載された装置・機器に構造的な共振振動があり、その減衰性が十分に確保されていない場合には、これらの共振振動をも効果的に低減・抑制して、装置性能に悪影響を及ぼさないようにする必要がある。

【0003】

特に半導体露光装置では、露光用ステージ装置のステップ・アンド・リピートという間欠的な繰り返し動作、あるいは、スキャニング露光のためのスキャン動作が、装置本体の振動を励起する。ステージ装置の駆動反力、および、ステージ装置の荷重移動が装置本体を構成する機器や構造物を励振してしまうのである。従ってこの分野における除振・制振装置には、床などの装置設置基礎からの振動をはじめとする外部振動から装置本体を振動的に絶縁するとともに、装置本体に搭載された機器の動作によって発生する装置本体の剛体振動や共振振動を効果的に低減・抑制することが必須条件として求められている。特にスキャン露光装置では、露光用ステージ装置がスキャン動作をしている状態で露光を行うため、振動の低減・抑制性能への要求は厳しく、一段と高性能な除振・制振装置が不可欠となっている。

【0004】

このような要求に対しては、半導体露光装置本体を搭載する除振台の振動をセンサで検出し、その検出信号を補償して、除振台に制御力を加えるアクチュエータにフィードバックすることにより能動的に振動制御を行う、各種の能動除振・制振装置が開発され、実用化されている。

【0005】

半導体露光装置における除振・制振装置としては、従来から、除振台を防振支持する支持機構を用いて除振台の振動を低減・抑制する、除振脚式の能動除振装置が広く用いられてきた。つまり、除振台を装置設置基礎上で支持する空気ばね、あるいは、そのような空気ばね、および、これと力学的に並列に配置され、除振台と装置設置基礎の間に制御力を作用させる電磁アクチュエータを併用したも

のをアクチュエータとして用いて、除振台の振動を制御する構成の除振装置が広く用いられてきた。

【0006】

この種の能動除振装置、および、これを半導体露光装置に適用した例としては、本出願人が特開平11-294520号で提案している「除振装置、これを用いた露光装置およびデバイス製造方法、ならびに除振方法」がある。当該先行技術では、除振台を装置設置基礎上で支持する空気ばねをエアアクチュエータとして利用するとともに、これと力学的に並列に配置され、除振台と装置設置基礎の間に制御力を作用させる電磁駆動のリニアモータを併用して、除振台の振動を低減・抑制する構成の能動除振装置、および、これを構成した半導体露光装置が開示されている。この装置では、センサを用いて除振台の変位、加速度などを検出し、それに補償演算を施して得た信号、および、除振台に搭載されたXYステージなどの駆動手段を備えた機器からの信号を補償して得た信号、装置設置基礎の振動を検出し、それに補償演算を施して得た信号、などに基いて、前記各アクチュエータを制御している。この装置では、大推力を容易に得られるエアアクチュエータ、応答性の優れた電磁アクチュエータ、双方のメリットを活かして制御機能を分担させることで、それ以前に広く適用してきた空気圧駆動式の能動除振装置にはない、優れた除振・制振性能を実現している。

【0007】

しかし、こうした除振脚式の能動除振装置よりもさらにキメの細かい振動制御を行うことで、より高度な除振・制振性能を実現するために、錘となる慣性負荷をアクチュエータで駆動し、その駆動反力を制御力として利用するアクティブ・マス・ダンパ、あるいはカウンタマスなどと呼ばれる能動制振装置が、精密振動制御の分野でも適用されつつある。

【0008】

この種の能動制振装置に関する先行技術としては、本出願人が特願平11-151141号で提案している「能動制振装置及びこれを用いた半導体露光装置」、特開平11-190786号公報の「ステージ装置、およびこれを用いた露光装置ならびにデバイス製造方法」、および本出願人が特許2000-1227

31号で提案している「能動制振装置」などがある。これらの先行技術においても、振動の低減・抑制する装置・手法が開示されている。

【0009】

図17は、特願平11-151141号に係る「能動制振装置及びこれを用いた半導体露光装置」として提案されている制振装置の構造を説明するための斜視図である。この制振装置は、直線方向に推力を発生するアクチュエータを用いて、錘となる質量を直線方向に駆動する構造を有しており、図17に示す装置は鉛直方向の振動を制振する装置である。

【0010】

これは、電磁駆動のリニアモータなどをはじめとする直動アクチュエータ81、直動アクチュエータ81によって、直線方向に駆動される慣性負荷82などからなる。図17では、直動アクチュエータとして、コイル巻線を有する固定子81aと、慣性負荷82に固定され、永久磁石を備えた可動子81bとの相互作用によって、図示矢印の直線方向の推力を発生する電磁駆動のリニアモータを用いた例を示す。直動アクチュエータ81は、ベース部材83を介して制振対象物に締結され、慣性負荷82を制振対象物に対して変位させるように推力を発生する。慣性負荷82を変位させるために直動アクチュエータ81に推力を発生させると、慣性負荷82に作用する推力の反作用力が制振対象物に作用する。

【0011】

また、図18には、これと同様の手法で水平方向の振動を低減するように作用する制振装置の構造を例示する。図17の装置同様、電磁駆動のリニアモータなどの直動アクチュエータ84、直動アクチュエータ84によって直線方向に駆動される慣性負荷85などからなる。図18では、直動アクチュエータとして、コイル巻線を配置した固定子84aと、慣性負荷85に固定され、永久磁石を備えた可動子84bとの相互作用によって、図示矢印の直線方向の推力を発生する電磁駆動のリニアモータを用いた例を示す。直動アクチュエータ84は、ベース部材86を介して制振対象物に締結され、慣性負荷85を制振対象物に対して変位させるように推力を発生する。慣性負荷85を変位させるために直動アクチュエータ84に推力を発生させると、慣性負荷85に作用する推力の反作用力が制振

対象物に作用する。

【0012】

この種の能動制振装置は、これらの反作用力を制振対象物への制御力として利用し、制振対象物の振動の検出信号を補償して得た信号などに基いてこの制御力を調整することで、振動制御を行う。つまり、除振脚式の能動除振装置などのように、振動制御のための制御力の反作用として、装置の外部に不要な力を作用してしまうことなく、除振台や機器などの振動を低減することができる。そのために、振動を低減・抑制するための力の反作用によって、除振台上に搭載された精密機器へ悪影響を及ぼす振動の原因となる、装置設置基礎や周辺環境の振動を励振しないというメリットがある。

【0013】

また、この種の装置は、制振対象物への作用力を、外部機器と制振対象物の相互間で発生させるのではなく、制振ユニット内の慣性負荷の駆動反力によって得る構造である。従って、制振装置を適切な形状に製作することができれば、機器の構造的な共振振動の低減のために用いられてきたダッシュポットや、剛性確保のための補強部材が取り付けられないような場所にも、該制振装置を適用して振動低減効果を得ることができる。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、直動アクチュエータを用いて制振対象物に加える制御力を得るこの種の能動制振装置を実際に適用する場合には、振動低減に必要な制御力や、抑制すべき振動の周波数帯域などを考慮して、慣性負荷やその可動ストロークを適切に設計する必要がある。

【0015】

例えば、さきに図17や図18を用いて説明したタイプの能動制振装置を用いて、XYステージのような機器の駆動反力に起因して発生する制振対象物の振動を低減しようとした場合、制振動作に必要な制御力を得るために、該XYステージと同等かそれに近い慣性負荷質量、可動ストロークを有する装置を用いる必要がある。しかし、許容される空間は有限であるため、所定の制振作用・効果を

得るために十分な質量、可動ストロークを確保できない場合がある。

【0016】

また、この種の能動制振装置で抑制しようとする振動が、比較的高い周波数に共振周波数を有する構造物の共振振動であり、それ自体の制振動作には大きな質量やストロークを必要としない場合でも、制振対象物と剛に締結された定盤などの上で、XYステージなどの機器が動作すると、XYステージなどを搭載する除振台が、その支持脚とからなる振動系の固有振動数相当の低い周波数で振動し、それによって制振対象物である構造物も低周波数で振動する。このような場合、除振台や制振対象の構造物に発生する低周波数振動の影響を受けて、能動制振装置に構成されている慣性負荷が大きく揺らされ、慣性負荷がその可動ストロークをオーバして動作することがある。

【0017】

こうした、制振装置の構造に対する仕様上の制約や、対象としていない周波数成分の振動発生などによって、慣性負荷がストロークオーバするような状態になると、十分な制振効果が得られないばかりか、慣性負荷がストローク範囲から逸脱しないように設けられたストッパなどの部材に慣性負荷が衝突して、制振制御系に大きな衝撃が加わり、制御動作が破綻する場合もある。一方、ストロークオーバによる不具合を回避すべく、制御ゲインを抑制してしまうと、必要とする制御効果を確保できることになる。

【0018】

ところで、従来から半導体露光装置等で広く用いられてきた除振脚式の能動除振装置は、制御力を、除振台、またはそれに剛に締結された部材に加える構造となっている。つまり、露光装置を構成する各種の機器を搭載する除振台や定盤の振動を低減・抑制する構造となっている。この場合、除振台や定盤に搭載される機器・構造物が、除振台や定盤に剛に締結されていて、かつ、それらに構造共振がなければ、搭載機器・構造物の振動も除振脚式の除振装置で十分に低減・抑制できる。

【0019】

しかし、実際の装置においては、機器設計上の様々な制約により、搭載機器・

構造物に構造的な共振振動を生じ、かつ、その共振振動に対して十分に減衰特性を付与できない場合が多い。また、重量のある搭載機器・構造物を除振台・定盤に締結する場合においては、締結剛性不足によりバネ・マス系が構成されて、装置性能を確保するうえで無視できないレベルの振動を生じてしまうことがある。このような搭載機器・構造物の振動が生じる場合においては、除振台や定盤の振動を低減・抑制しても、これらの機器・構造物の振動を十分に抑えることができないため、装置挙動に悪影響を及ぼして、露光性能を低下させてしまう。特に、半導体露光装置においては、機器配置設計上、やむを得ず片持ち支持構造となってしまう構造物があり、その支持点を中心とした首振り振動が発生して半導体露光装置の性能に悪影響を及ぼしてしまうことがある。

【0020】

この種の搭載機器・構造物の振動は、外部機器と制振対象物との間に、減衰特性を付与するダッシュポットや、剛性確保のための補強部材などを取り付ければ、低減・抑制することが可能である。しかし、機器配置設計上の制約からこの種の部材を取付けることができない場合も多々ある。そのために、機器・構造物の構造共振などの振動を十分に抑制することができず、この種の振動が半導体露光装置の性能向上を阻害する大きな要因となることが少なくない。配置設計上の制約が大きい機器・構造物に対しても、効果的にその剛体振動、構造共振などの振動を低減・抑制する手段・手法、および、それを備えた半導体露光装置が必要とされているのである。

【0021】

また、半導体露光装置の高精度化に伴い、装置設置基礎などの環境振動の影響をより一層低減することが求められている。このような要求に対しては、前述の除振脚式の能動除振装置において、装置設置基礎振動の検出信号を補償し、除振台に制御力を加えるアクチュエータにフィードフォワードする制御手法が提案・適用されている。この手法は、装置設置基礎振動の検出信号に基き、除振脚を介した装置設置基礎から除振台までの伝達振動をキャンセルするような制御力をアクチュエータに発生させるものであり、除振台振動の検出信号だけを用いた制御方式に比較して、格段に装置設置基礎からの振動伝達量を低減・抑制することが

できる。

【0022】

しかし、この制御動作には、床や装置設置基礎の振動という、その発生メカニズムに不確定要因の多い物理量の検出信号を用いている。そのために、装置設置環境に作用する様々な不確定要因によって、予想のできない、不確定な信号が制御系にフィードフォワードされる可能性がある。つまり、この制御手法は、振動制御動作の信頼性という点において、弱点があるのである。

【0023】

このような課題を解決するためには、半導体露光装置を設置する設置基礎側の構造物自体の振動を抑制することで、露光装置本体に伝達する振動を低減する手法が有効であり、このような観点からも、除振脚式の除振装置による対応が適さない種類の振動を低減・抑制する手段・手法が必要とされている。

【0024】

特願平11-151141号等に係る先行技術においては、本発明に係る装置のように、半導体露光装置を構成する構造物、特に、半導体露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物や、半導体露光装置を防振支持する除振脚の設置基礎側構造物などの振動を対象とした制振装置、手法に関しては、詳細に言及していない。特許願2000-122731号で提案している「能動制振装置」や特開平11-190786号公報では、半導体露光装置を対象とした制振装置に言及しているが、基本的には、露光装置本体を構成する除振台や定盤などの剛体振動を対象とした制振装置・手法の開示にとどまっている。

【0025】

本発明の第1の目的は、アクチュエータを用いた能動制振装置において、慣性負荷の可動ストロークや質量などに対する制約が大きい場合に発生する、前述のような問題点を解決するためのものであり、振動抑制効果と、大振動発生時の安定動作とを両立させ、制約条件下で最大限の制振性能を得ることができる能動制振装置およびその制御方法を提供することである。

【0026】

本発明の第2の目的は、以上に述べたような、従来の除振脚式の除振装置では

十分に低減・抑制できない種類の振動、あるいは、除振脚式除振装置の適用が適さない種類の振動を、安定かつ迅速に抑制できる、機器配置設計上の制約の小さい構造の能動制振装置、およびこれを構成した、高性能の露光装置を提供することである。

【0027】

本発明の第2の目的は、より具体的には、半導体露光装置等の本体構造体を構成する構造物に発生する剛体振動のみならず、露光装置を構成する片持ち支持構造物に発生する構造共振などの局所的振動、あるいは、露光装置本体ではなく、それを設置する設置基礎側の構造物に発生する構造振動などといった、先行技術が対象としていなかった種類の振動をも効果的に低減・抑制することである。

【0028】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は、以下に詳述する装置等を提供する。

すなわち、本発明が開示する装置は、制振対象物に固定され、推力を発生するアクチュエータと、前記アクチュエータに接続され、前記制振対象物に対して相対的に運動する慣性負荷と、駆動指令信号に応じて前記アクチュエータを駆動する駆動回路とを有し、前記アクチュエータが発生する推力により前記慣性負荷を駆動する際に発生する駆動反力によって前記制振対象物に制御力を加え機器の振動を低減する制振ユニットを備える能動制振装置である。該能動制振装置は、前記制振対象物の振動を検出する振動検出手段と、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に補償演算処理を施す補償演算手段とを備えたものであることが望ましい。この際、該補償演算手段は、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して、非線形補償演算を施すものであってもよい。前記アクチュエータは直線方向に推力を発生して前記慣性負荷を直線方向に駆動するものであってもよい。なお、この、慣性負荷を直線方向に駆動して制振対象物に制御力を加えるタイプの制振ユニットを、以降、直動制振ユニットと呼ぶこととする。

【0029】

また、前記能動制振装置は、前記補償演算手段によって得られた信号に基いて

前記制振ユニットを駆動することにより前記制振対象物の振動を低減するものであることが望ましい。前記の能動制振装置において、前記非線形補償演算は、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償、位相進み補償、位相遅れ補償などの少なくともいずれかを含む線形補償演算を施し、さらにその信号に対して非線形補償演算を施すものであってもよく、前記非線形補償演算は、単調増加または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対してより絶対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従うものであってもよい。

【0030】

また、駆動手段を備えた機器が制振対象物に搭載された場合、あるいは該駆動手段を備えた機器と制振対象物とが高い剛性で締結された場合において、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号を入力として該信号に適切な補償演算処理を施す前向き補償演算手段を備え、該前向き補償演算手段の出力信号に基いて、前記制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の振動を低減する機能を備えることが好ましい。この場合、該前向き補償演算手段は、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、非線形補償演算を施すものであってもよく、前記非線形補償演算は、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償、位相進み補償、位相遅れ補償などの少なくともいずれかを含む線形補償演算を施し、さらにその信号に対して非線形補償演算を施すものであってもよく、前記非線形補償演算は、単調増加、または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対してより絶対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従うものであってもよい。

【0031】

また、本発明には、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して非線形補償演算を施して得た信号と、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、非線形補償演算を施して得た信号と、の少なくともいずれか一方の信号に基いて前記制振

ユニットを制御することで、前記制振対象物の振動を低減する制御方法も含まれる。

【0032】

また、露光装置等の機器に悪影響を及ぼす振動を低減する制振ユニットであって、制振対象物に固定され、回転方向にトルクを発生する回転アクチュエータと、前記回転アクチュエータに接続され、前記制振対象物に対して相対的に回転方向に運動する慣性要素であるフライホイール等と、駆動指令信号に応じて前記回転アクチュエータを駆動する駆動回路とからなり、前記回転アクチュエータが発生するトルクにより前記慣性要素を回転駆動する際に発生する駆動反力によって前記制振対象物に制御トルクを加える回転制振ユニットを備えた能動制振装置も本発明の範囲に含まれる。

【0033】

前記回転制振ユニットを用いた能動制振装置は、前記制振対象物の回転運動方向の振動を検出する回転振動検出手段と、前記回転振動検出手段で検出された前記制振対象物の回転振動に相当する信号に補償演算処理を施す回転振動補償演算手段とを備えていることが望ましく、前記回転振動補償演算手段によって得られた信号に基いて前記回転制振ユニットを駆動することにより、前記制振対象物の回転振動を低減するものであることが望ましい。

【0034】

また、当該露光装置は、XYステージなどの駆動手段を備えた機器を有するものであり、前記回転制振ユニットを用いた能動制振装置は、前記駆動手段を備えた機器の動作によって励振される構造物の振動を低減する制振ユニットであって、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、および、その制御手段のいずれかからの信号を入力としてこの信号に適切な補償演算処理を施す、第2の前向き補償演算手段を備え、該第2の前向き補償演算手段の出力信号に基いて、前記回転制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の回転振動を低減する機能を備えたものであってもよい。

【0035】

前記能動制振装置は、いずれも前記慣性負荷を所定中立位置に維持する受動的

、または、能動的剛性付与手段を備えたものであることが望ましい。

また、本発明には、振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して線形補償演算および非線形補償演算の少なくともいずれかを施して得た信号と、駆動手段を備えた前記機器の動作状態およびその制御手段のいずれかからの信号に対して、線形補償演算および非線形補償演算の少なくともいずれかを施して得た信号と、の少なくともいずれか一方の信号に基いて前記回転制振ユニットを制御することで、前記制振対象物の回転振動を低減する制御方法も含まれる。

【0036】

また、上記いずれかの能動制振装置が、基板、もしくは原版を載置してその精密位置決め動作を行うステージ装置が搭載された定盤、または該定盤に搭載された構造物に作用して、該定盤または構造物の振動を低減する露光装置や、上記いずれかの能動制振装置または能動制振装置の制御方法のうちの一つを用いた露光装置や、前記直動制振ユニットを用いた能動制振装置と、回転制振ユニットを用いた能動制振装置とを併用して、制振対象物の振動を低減する能動制振装置を備えたことを特徴とする露光装置も、本発明の範囲に含まれる。

【0037】

前記いずれかの能動制振装置は、露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物に取付けられ、この構造物の、片持ち支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するように作用するものであってもよい。

【0038】

この場合に用いる能動制振装置は、前記直動制振ユニットを用いた能動制振装置であり、露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物において、その片持ち支持点から極力離れた位置で、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の方向の接線方向に作用するように配置され、該支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するように作用するものであってもよい。

【0039】

また、この場合に用いる能動制振装置は、前記回転制振ユニットを用いた能動制振装置であり、その発生トルクが作用する中心軸の延長線が、露光装置を構成

する片持ち支持構造の構造物において、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の回転中心位置を通るように配置され、該支持点を中心とした構造物の回転振動を低減・抑制するように作用するものであってもよい。

【0040】

さらに、ここで制振対象物とする片持ち支持構造の構造物が、原版（レチクル等）上の回路パターンを光学レンズシステムを介して基板（シリコンウェハ等）に露光するための露光光を照射する照明光学系を構成する機械構造体である露光装置も、本発明の範囲に含まれる。

【0041】

また、前記直動制振ユニットを用いた能動制振装置が、露光装置を設置する設置基礎側構造物に設置され、該設置基礎側構造物の振動を低減することで、該設置基礎側構造物から露光装置本体に伝達する振動を低減する構成の露光装置も、本発明の範囲に含まれる。

【0042】

また、本発明は、上記いずれかに記載の能動制振装置を備えた露光装置を含む各種プロセス用の製造装置群を半導体製造工場に設置する工程と、該製造装置群を用いて複数のプロセスによって半導体デバイスを製造する工程とを有する半導体デバイス製造方法にも適用可能である。この場合、前記製造装置群をローカルエリアネットワークで接続する工程と、前記ローカルエリアネットワークと前記半導体製造工場外の外部ネットワークとの間で、前記製造装置群の少なくとも1台に関する情報をデータ通信する工程とをさらに有することが望ましく、前記露光装置のベンダもしくはユーザが提供するデータベースに前記外部ネットワークを介してアクセスしてデータ通信によって前記製造装置の保守情報を得る、もしくは前記半導体製造工場とは別の半導体製造工場との間で前記外部ネットワークを介してデータ通信して生産管理を行うことが好ましい。

【0043】

また、本発明は、上記いずれかにの露光装置を含む各種プロセス用の製造装置群と、該製造装置群を接続するローカルエリアネットワークと、該ローカルエリアネットワークから工場外の外部ネットワークにアクセス可能にするゲートウェ

イを有し、前記製造装置群の少なくとも1台に関する情報をデータ通信することを可能にした半導体製造工場にも適用可能であり、半導体製造工場に設置された上記いずれかの露光装置の保守方法であって、前記露光装置のベンダもしくはユーザが、半導体製造工場の外部ネットワークに接続された保守データベースを提供する工程と、前記半導体製造工場内から前記外部ネットワークを介して前記保守データベースへのアクセスを許可する工程と、前記保守データベースに蓄積される保守情報を前記外部ネットワークを介して半導体製造工場側に送信する工程とを有する露光装置の保守方法にも適用できる。

【0044】

また、本発明は、上記いずれかにの露光装置において、ディスプレイと、ネットワークインターフェースと、ネットワーク用ソフトウェアを実行するコンピュータとをさらに有し、露光装置の保守情報をコンピュータネットワークを介してデータ通信することを可能にした露光装置を含み、前記ネットワーク用ソフトウェアは、前記露光装置が設置された工場の外部ネットワークに接続され前記露光装置のベンダもしくはユーザが提供する保守データベースにアクセスするためのユーザインターフェースを前記ディスプレイ上に提供し、前記外部ネットワークを介して該データベースから情報を得ることを可能にすることが望ましい。

【0045】

【作用】

本発明に係る能動制振装置は、制振対象物に固定され、推力を発生するアクチュエータを用いて、前記制振対象物に対して相対的に慣性負荷を駆動する際に発生する駆動反力により、前記制振対象物に制御力を加える構造の制振ユニットを用いて、露光装置などの精密機器に悪影響を及ぼす振動を低減する。前記アクチュエータは、駆動指令信号に応じて該アクチュエータを駆動する駆動回路によつて駆動される。

【0046】

この能動制振装置は、振動検出手段を用いて前記制振対象物の振動を検出し、補償演算手段にて前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して補償演算を施し、その出力として得られた信号に基いて前記制振

ユニットを駆動して、前記制振対象物の振動を低減するように動作させることが望ましい。

【0047】

前記制振対象物の振動に相当する信号に対して施す補償演算は、非線形補償演算であってもよい。

その際の非線形補償演算は、前記振動検出手段で検出された前記制振対象物の振動に相当する信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償などの線形補償演算を施し、さらにその信号に対して、非線形演算を施すものであってもよい。

【0048】

また、これらの非線形補償演算には、単調増加、または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対してより絶対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従った演算処理を適用することができる。

【0049】

また、XYステージなどの駆動手段を備えた機器が制振対象物に搭載された場合、あるいは該駆動手段を備えた機器と制振対象物とが高い剛性で締結された場合においては、前向き補償演算手段にて、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、またはその制御手段からの信号に対して、適切な補償演算処理を施し、その出力信号に基いて、前記制振ユニットを駆動することが望ましい。

【0050】

その際、前向き補償演算手段では、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、またはその制御手段からの信号に対して、非線形補償演算を施してもよい。

その場合、非線形補償演算は、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、またはその制御手段からの信号に対して、比例補償、積分補償、微分補償などの線形補償演算を施し、さらにその信号に対して、非線形演算を施すものであってもよい。

【0051】

前向き補償演算手段における非線形補償演算にも、単調増加、または単調減少であり、かつその入力信号の中立点から離れるほど該入力信号に対して、より絶

対値の小さいゲインを乗じた信号を出力する非線形関数に従った演算処理を適用することができる。

【0052】

さらに、上記いずれかの能動制振装置を、露光装置における基板であるシリコンウェハ、もしくは原版であるレチクルを載置してその精密位置決め動作を行うステージ装置が搭載された定盤、または該定盤に搭載された構造物に対して作用させ、該定盤または構造物の振動を低減する動作も本発明に含まれる。

【0053】

本発明に係る露光装置は、制振対象物である露光装置を構成する構造物に固定された、直動制振ユニットまたは回転制振ユニットを用いて、露光装置に悪影響及ぼす振動を低減する能動制振装置を備えている。

【0054】

これに用いる前記直動制振ユニットは、直線方向に推力を発生するアクチュエータを用いて、前記制振対象物に対して相対的に直線方向に運動する慣性負荷を駆動する際に発生する駆動反力を、前記制振対象物に対する制御力として利用するものであってもよい。

【0055】

この直動制振ユニットにおいては、前記慣性負荷を所定中立位置に復元するように受動的、または、能動的剛性付与手段を作用させてもよい。

この直動制振ユニットを用いた制振対象物の振動の低減・抑制は、前記制振対象物の振動を検出し、この検出信号に補償演算処理を施し、その結果として得られた信号に基いて直動制振ユニットを駆動することにより実現することが望ましい。

【0056】

また、XYステージなどの駆動手段を備えた機器を有する露光装置においては、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、または、その制御手段からの信号に対して適切な補償演算処理を施し、その結果として得られた信号に基いて、前記直動制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の振動を低減することが望ましい。

【0057】

前記回転制振ユニットは、回転方向にトルクを発生する回転アクチュエータを用いて、前記制振対象物に対して相対的に回転方向に運動する慣性要素であるフライホイールを駆動する際に発生する駆動反力を、前記制振対象物に対する制御トルクとして利用するものである。

【0058】

この回転制振ユニットを用いた制振対象物の振動の低減・抑制は、前記制振対象物の回転振動を検出し、この検出により得られる検出信号に補償演算処理を施し、その結果として得られた信号に基いて回転制振ユニットを駆動することにより実現することが望ましい。

【0059】

また、XYステージなどの駆動手段を備えた機器を有する露光装置においては、前記駆動手段を備えた機器の動作状態、または、その制御手段からの信号に対して適切な補償演算処理を施し、その結果として得られた信号に基いて、前記回転制振ユニットを駆動することで前記制振対象物の振動を低減することが望ましい。

【0060】

さらに、前記直動制振ユニットを用いた能動制振装置と、前記回転制振ユニットを用いた能動制振装置とを併用して、制振対象物の振動を低減するようにしてもよい。

【0061】

また、前記各種能動制振装置を、露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物に取付け、この構造物の、片持ち支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するように作用させてもよい。

【0062】

この場合、露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物において、その片持ち支持点から極力離れた位置で、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の方向の接線方向に作用するように配置された前記直動制振ユニットを用いて、該支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するようにしてもよい。

【0063】

また、露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物において、前記回転制振ユニットを、その発生トルクが作用する中心軸の延長線が、この構造物の、片持ち支持点を中心とした回転振動の回転中心位置を通るように配置し、これを用いて該支持点を中心とした構造物の回転振動を低減・抑制するように作用させてもよい。

【0064】

なお、露光装置を構成する前記片持ち支持構造の構造物として、本発明を好適に適用できる構造物としては、原版（レチクル等）上の回路パターンを光学レンズシステムを介して基板（シリコンウェハ等）に露光するための露光光を照射する照明光学系を構成する機械構造体などがある。

【0065】

また、露光装置を設置する設置基礎側構造物に、前記直動制振ユニットを用いた能動制振装置を設置し、該構造物の振動を低減することで、該構造物から露光装置本体に伝達する振動を低減する動作も、本発明の範囲に含まれる。

【0066】

【発明の実施の形態】

(第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態では、精密機器搭載用除振台や除振台の搭載物に発生する、半導体露光装置などの精密機器に悪影響を及ぼす、振動を低減する以下の能動制振装置について説明する。

【0067】

図1は本発明の第1の実施形態に係る能動除振装置の構成を表す図である。本実施形態に係る能動制振装置は、制振対象物を、空気ばねなどの支持機構2により防振支持された除振台1とした場合の例である。半導体露光装置においては、除振装置により支持された露光装置本体や、基板（シリコンウェハ等）、もしくは原版（レチクル等）を載置してその精密位置決め動作を行うステージ装置を搭載する除振台などが、この実施形態と同等の対象となる。以下、本実施形態について、図1を用いて説明する。

【0068】

本実施形態に係る能動制振装置は、ここでの制振対象物である除振台1に制御力を加える直動制振ユニット50、制振対象物である除振台1の振動を検出する振動検出手段3、振動検出手段3の出力信号に基き、制振対象物の振動に相当する信号に適切な補償演算を施す補償演算手段4、および除振台1上に搭載されたXYステージなどの機器の動作状態、またはその制御手段からの信号に対して補償演算を施す前向き補償演算手段5などを備える。支持機構2としては、空気ばねやゴムなどをはじめとする弾性部材を用いた防振支持機構を用いることができる。また、支持機構2としては、除振台1の振動をセンサなどで検出し、その信号を補償して得た信号に基き、除振台1に制御力を加えるアクチュエータを用いて、その振動を低減するように制御する能動除振装置なども用いることができる

【0069】

直動制振ユニット50は、制振対象物である除振台1に固定されており、図2に示すとおり、駆動信号に応じて推力を発生する直動アクチュエータ51、直動アクチュエータ51に接続され、除振台1に対して相対的に直線方向に運動する慣性負荷52、ベース部材53、慣性負荷52の動作範囲をある一定の範囲内に制限するストッパ54、直動アクチュエータ51の駆動回路55などを備える。駆動回路55は、直動アクチュエータ51、慣性負荷52などとは別にして、除振台1に搭載しない構成としてもよい。

【0070】

図3は直動アクチュエータ51、および慣性負荷52等を示す斜視図である。慣性負荷52は、同図ではその詳細構成を省略したリニアガイドなどで図示矢印Aの方向に運動可能な状態で支持され、直動アクチュエータ51が発生する推力によって、同矢印Aで示した直線方向に駆動される。直動アクチュエータ51は、固定子51aと可動子51bとからなり、固定子51aは除振台1に剛に締結されており、可動子51bは慣性負荷52が接続されて除振台1に対して直線方向に可動な構造になっている。

【0071】

直動アクチュエータ51には、例えば、図3に示す直動アクチュエータ51において、コイル巻線を固定子51aに、永久磁石を可動子51bにそれぞれ配置し、このコイル巻線に流れる電流と永久磁石による磁界との相互作用によって図示矢印Aの直線方向の推力を発生する、電磁駆動のリニアモータを好適に用いることができる。このような電磁駆動のリニアモータは、駆動回路55を用いてコイル巻線に流れる電流を制御することで、その発生推力を容易に制御できる。

【0072】

もちろん、直動アクチュエータ51には、DCサーボモータなどの回転電磁アクチュエータと、そのトルクを直線方向の推力に変換して慣性負荷52を直線方向に運動させる送りネジ機構とからなるタイプのアクチュエータなど、これ以外の様々なタイプのアクチュエータも用いることができることはいうまでもない。

このような直動アクチュエータ51は、ベース部材53を介して制振対象物である除振台1に固定され、慣性負荷52を制振対象物たる除振台1に対して変位させるように推力を発生する。慣性負荷52を変位させるために直動アクチュエータ51に推力を発生させると、慣性負荷52に作用する推力の反作用力が制振対象物に作用する。本実施形態に係る制振装置は、この反作用力を振動制御のための制御力として利用する。つまり、この制振装置は、慣性負荷52を駆動するために直動アクチュエータ51が発生する駆動力を調整することで、その反作用として制振対象物に加わる推力を制御する。

【0073】

制振対象物、つまり、除振台1の振動を検出する振動検出手段3としては、加速度センサ、速度センサなどを用いることができる。

【0074】

次に、本実施形態に係る制振装置の動作について、図1を参照にして説明する。

本実施形態に係る装置は、振動検出手段3や補償演算手段4を用いて、制振対象物である除振台1の振動に相当する信号を補償した信号を直動制振ユニット50にフィードバックする制御動作、前向き補償演算手段5を用いて除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態、またはその制御手段からの

情報を直動制振ユニット50にフィードフォワードする制御動作などを行う。

【0075】

まず、振動検出手段3、補償演算手段4などを用いたフィードバック制御動作を説明する。

【0076】

フィードバック制御動作では、装置設置基礎からの振動伝達、あるいは除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作によって発生する除振台1の振動を、除振台1に設置された振動検出手段3を用いて検出し、その検出信号に対して、補償演算手段4にて、適切に補償演算を施す。そして、その結果として得られた信号に基いて、直動制振ユニット50を駆動し、除振台1の振動を低減・抑制する。

【0077】

本実施形態に係る装置では、この補償演算手段4において実施する補償演算を、非線形演算によって行う。この非線形演算は、用途や目的に応じて様々なものを適用できることはいうまでもないが、ここでは、振動検出手段3で検出された制振対象物、つまり、除振台1の振動に相当する信号に対して、比例補償、積分補償などに代表される線形補償演算を施し、さらにその信号に対して、非線形補償演算を施す場合を例に挙げて説明を行う。

【0078】

除振台1の振動を低減するために補償演算手段4で行う線形補償演算として、ここでは、除振台1とそれを防振支持する支持機構2からなる振動系の固有振動に、減衰特性を付与する場合を例として説明する。除振台1と支持機構2からなる振動系の固有振動に減衰特性を付与するためには、除振台1の振動速度に比例する制御力が除振台1に加えられるように演算を施せばよい。振動検出手段3として加速度センサ、直動制振ユニット50における直動アクチュエータ51として、応答性の高い電磁駆動モータなどを用いた場合には、補償演算手段4は、振動検出手段3で検出された除振台1の振動加速度に相当する信号に対して、積分補償演算を中心とした補償演算を行えばよい。電磁駆動モータは、通常、除振台1と支持機構2からなる振動系の固有振動数に比較して、十分高い周波数まで優

れた応答特性を示すため、減衰特性を必要とする該固有振動数付近の周波数領域では、電磁駆動モータは駆動電流指令信号を受けて該信号の指令する推力にほぼ一致する推力を瞬時に発生できる。従って、振動検出手段3で検出される除振台1の加速度信号に対し、補償演算手段4では、積分補償を施して速度に比例する信号が得られればよい。同様の考え方で従えば、振動検出手段3として速度センサを用いた場合、補償演算手段4は、比例補償演算を行えばよいことはいうまでもない。

【0079】

なお、ここでは、補償演算手段4における線形補償演算を、除振台1と支持機構2とからなる振動系の固有振動に減衰特性を付与する場合を例にして説明したが、加速度や速度などの振動に関する信号を適宜複合して利用したり、積分補償や比例補償の他、微分補償、位相進み補償、位相遅れ補償などの、それ以外の線形補償演算を適用、または、併用して、除振台1の振動を適切な状態に制御するものであってもよい。

【0080】

本実施形態で説明する能動制振装置では、このようにして得られた線形補償演算の結果に対して、さらに非線形演算を施す。ここでは、図4に示すような入出力特性を有する非線形演算を、さきの線形補償演算の結果に対して施し、その演算結果を用いて、直動制振ユニット50を制御する。図4に示した非線形演算は、単調増加の非線形関数であって、その入力信号の中立点から離れるほど入力信号に対して、より小さいゲインを乗じた信号を出力する関数の一例であり、入力をx、出力をyとして記述した場合、次式で表わされるものである。

【0081】

【数1】

$$y = K_1 \left(\frac{1}{1 + \exp(-K_2 x)} - 0.5 \right)$$

【0082】

ここで、 K_1 、 K_2 は定数であり、 K_2 は正の定数である。

これは、入力を x 、出力を y として記述した場合、一般的に、以下の式で表される、シグモイド関数と呼ばれる非線形関数を利用したものである。

【0083】

【数2】

$$y = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

【0084】

なお、図4に示した入出力特性は、 K_1 を正の定数とした、単調増加の非線形関数に従うものであるが、場合によっては、 K_1 を負の定数とした単調減少の非線形関数に従う非線形演算を適用することも、もちろん、可能である。

【0085】

数1で表される関数は、入力 x の絶対値が大きくなるに従って、出力 y / 入力 x の比率の絶対値が小さくなる。例えば、 $K_1 = 1$ 、 $K_2 = 1$ とした場合、 $x = 1$ においては、 $y/x = 0.23$ であるが、 $x = 2$ においては、 $y/x = 0.19$ となる。つまり、大きな入力ほど、出力 y / 入力 x のゲインの絶対値が小さくなる入出力特性を有する。

【0086】

このような非線形演算を適用した場合、さきに説明した線形補償演算の結果として得られる信号、つまり、非線形演算の入力が小さい場合は、図7に示す $y = K_3 x$ と同等の出力信号を発生するが、線形補償演算の結果として得られる信号が大きい場合は、 K_3 より絶対値の小さいゲイン K_4 に比例する線形関数 $y = K_4 x$ に近い出力信号を発生する。つまり、補償演算手段への入力信号レベルが大きい場合は、それが小さい場合に比較して、制御ゲインを抑制したのと同等の信号を出力するのである。

【0087】

従って、本実施形態に係る装置は、慣性負荷 52 の動作範囲がストップ 54 で制限されたストローク範囲に対して十分に余裕のある範囲では高い制御ゲインを確保し、大きな制御力が必要な範囲では、慣性負荷 52 がストロークオーバしないよう、制御ゲインを下げるような補償演算結果を得ることができる。

【0088】

図5には、以上において説明した補償演算手段4の演算ブロック図を示す。つまり、補償演算手段4は、積分補償演算などを行う線形補償演算回路4aと、数1等の非線形補償演算を行う非線形補償演算回路4bとを直列に接続した構成となっている。

【0089】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードバック制御動作は、このように、非線形演算を含む補償演算を施す補償演算手段4で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。なお、補償演算手段4で行う非線形演算は、数1で示したものに限定されないし、ここで例を挙げて説明したように補償演算手段4を線形補償演算回路4aと非線形補償演算回路4bとから構成するのではなく、非線形補償演算回路4bだけから構成してもよいことはいうまでもない。

【0090】

次に前向き補償演算手段5を用いたフィードフォワード制御動作を説明する。

前向き補償演算手段5は、除振台1上に搭載されたXYステージなどの機器の動作状態などを示す信号に対して補償演算を施して、適切な振動制御を行うための信号を生成するためのものである。以下に、フィードフォワード制御動作を詳述する。

【0091】

図1に示すように、除振台1に、XYステージ45などの駆動手段を備えた機器が搭載されているとする。このXYステージ45は電磁駆動リニアモータなどにより駆動される。このXYステージ45を駆動する電磁駆動リニアモータは、XYステージ制御手段46からの信号に基き、XYステージ駆動回路47を介して駆動される。

【0092】

前向き補償演算手段5では、XYステージ制御手段46からの信号、またはXYステージ45の駆動状態に関する信号に基き、XYステージ45の駆動反力によって発生する除振台1の振動を、直動制振ユニット50で効果的に低減・抑制

すべく、適切な演算処理を施す。

【0093】

この前向き補償演算は、基本的には、XYステージ45の駆動加速度、またはその駆動反力に比例する信号を基に、所望の制御帯域でそれに比例する制御力が除振台1に付与されるよう、前向き補償演算手段5でバンドパスフィルタなどで適切な補償演算を施すことによって実現できる。ただし、このフィードフォワード制御動作を実現する際に、慣性負荷52がストップ54で制限されたストロークをオーバーする場合には、このような線形補償演算の結果に対して、さらに、数1で表されるような非線形補償演算を施し、その結果として得られた信号に基き、直動制振ユニット50を制御する。つまり、基本的には、XYステージ45の駆動加速度、またはその駆動反力に比例する信号に基き、直動制振ユニット50を駆動し制御を行うが、その信号を直接利用すると、慣性負荷52のストロークオーバーが発生し、制御系の動作を損なったりするような場合には、安定かつ好適な制御動作を確保するために、該信号に対して、数1によるような非線形演算を施し、結果として得られた信号を用いて、直動制振ユニット50を駆動する。こうすることによって、本実施形態に係る制振装置は、慣性負荷52の動作範囲がストップ54で制限された許容ストローク範囲に対して十分に余裕のある範囲では高い制御ゲインを確保し、大きな制御力が要求される範囲では、慣性負荷52がストロークオーバーしないよう、制御ゲインを下げるような補償演算結果を得ることができる。

【0094】

図6には、ここで説明した、非線形補償演算を含む前向き補償演算手段5の演算ブロック図を示す。つまり、前向き補償演算手段5は、比例補償演算などを行う線形補償演算回路5aと、数1等の非線形演算を行う非線形補償演算回路5bとを直列に接続した構成となっている。

【0095】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードフォワード制御動作は、このような非線形演算を含む補償演算を施す前向き補償演算手段5で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。なお、前向き補償演算手段5

で行う非線形演算は、数1で示したものに限定されないし、ここで例を挙げて説明したように前向き補償演算手段5を線形補償演算回路5aと非線形補償演算回路5bとから構成するのではなく、非線形補償演算回路5bだけから構成してもよいことはいうまでもない。

【0096】

以上のように、本実施形態に係る装置は、振動検出手段3などを用いて、制振対象物である除振台1の振動を検出し、その検出信号を補償して直動制振ユニット50にフィードバックする制御動作、および前向き補償演算手段5を用いて、除振台1上に搭載された機器の動作状態などの情報を直動制振ユニット50にフィードフォワードする制御動作、それぞれの動作における補償演算を非線形演算を含む演算処理により行えるようにしている。なお、ここでは、フィードバック制御動作、およびフィードフォワード制御動作を、それぞれ個別に説明したが、双方の補償演算結果を加算した信号に基いて、直動制振ユニット50を駆動することで、フィードバック制御動作、およびフィードフォワード制御動作、双方を同時に機能させてもよい。もちろん、フィードバック制御動作、およびフィードフォワード制御動作のいずれか一方のみで制御を行ってもよいことはいうまでもない。また、必要に応じて、フィードバック制御動作、フィードフォワード制御動作のうちのいずれか一方のみを非線形演算を含む補償演算処理に基いて行う構成としてもよい。

【0097】

従来、直動制振ユニット50と同種の装置を用いて、制振対象物の振動を低減・抑制しようとする装置は、さきに説明した線形補償演算のみの結果を用いて、制御を行う構成としていた。

【0098】

しかし、直動制振ユニット50における慣性負荷52の可動ストロークは有限であるため、大きな振動が制振対象物に発生し、それを抑制するために大きな制御力を要求されるような場合などでは、慣性負荷52がこのストロークをオーバして振動制御の機能を果たさないことがある。慣性負荷52が許容されるストロークをオーバして動作した場合、慣性負荷52の動作範囲を制限するため設けら

れたストッパ54に慣性負荷52が衝突し、大きな衝撃振動が発生する。この衝撃振動が振動検出手段3で検出され、その補償信号が直動制振ユニット50にフィードバックされると、その衝撃振動に起因した大信号が直動制振ユニット50に入力されて、不安定な制御状態に陥る可能性がある。線形補償演算のみに頼る制御方式では、こうした慣性負荷52のストッパ54への衝突による不具合を回避するために、補償演算手段4で行われる積分補償や比例補償などの線形補償演算のゲインをある程度下げざるを得ず、そのため制振装置の安定動作は確保されるが、制振効果も低減してしまうという問題があった。

【0099】

これに対して、本実施形態で説明した装置では、さきに説明したような、非線形演算処理を含む補償演算を適用することにより、慣性負荷52の動作範囲がストッパ54で制限されたストロークの範囲に対して十分に余裕のある範囲内に収まる比較的小さな制御力で対処できる振動は、比較的高い制御ゲインによって制御できるため、良好な振動低減効果を得ることができ、一方、大きな振動が発生した場合は、相対的に低い制御ゲインで制御された場合と等価の動作をするため、直動制振ユニット50で発生する制御力は抑制され、慣性負荷52のストロークオーバーを発生させることなく、安定に制振制御を行うことができる。

【0100】

つまり、本実施形態に係る能動制振装置によれば、慣性負荷の可動ストロークや質量などに対する制約が大きい場合においても、振動抑制効果と大振動入力時の安定動作を両立させ、制約条件下で最大限の制振性能を得ることができるのである。

【0101】

(第2の実施形態)

図8は、本発明の第2の実施形態として説明する、除振台1に搭載された構造物6の振動を低減するための装置の構成例を示す図である。

第1の実施形態では、制振対象物を除振台1とした場合を例にして、本発明に係る装置を詳細に説明した。ここでは、第2の実施形態として、除振台1に比較的高い剛性で締結された構造物6に発生する局所的な共振振動を、本発明に係る

能動制振装置で低減・抑制する例を示す。本実施形態における制振対象物は、除振台1と支持機構2とからなる振動系の固有振動ではなく、除振台1上に搭載され、除振台1に比較的高い剛性で締結された構造物6の構造的な共振振動である。半導体露光装置においては、除振台上に搭載された、光学系、計測系などを支持する構造体が、この構造物6に相当する。

【0102】

本実施形態が装置の構成上、第1の実施形態と異なる点は、直動制振ユニット50と振動検出手段3が除振台1ではなく、除振台1に締結された構造物6に取付けられていることである。本実施形態は、振動検出手段3が、ここでの制振対象物である構造物6の振動を検出する点、直動制振ユニット50が構造物6に対して制御力を加える点が、第1の実施形態と異なる点であり、それ以外は、構成要素、動作とも第1の実施形態に係る装置と、基本的には同じである。ただし、本実施形態に係る補償演算手段4、および前向き補償演算手段5の動作は、第1の実施形態の場合と若干異なるので、この点についてのみ、以下に説明を加えておく。

【0103】

まず、本実施形態に係る補償演算手段4について説明する。

第1の実施形態で制振対象物とした、除振台1と支持機構2からなる振動系は、通常、10Hz以下の比較的低い固有振動数を有するが、ここで制振対象物としている構造物6は、通常、数十Hz以上の周波数で構造的に共振する。そのため、構造物6の共振振動を低減・抑制するために直動制振ユニット50に要求される制御力には、第1の実施形態の場合に比較して高い周波数成分が含まれている。直動制振ユニット50の発生制御力は、慣性負荷52の駆動反力に比例する、つまり、慣性負荷52の動作加速度に比例する。一般的によく知られているように、同じ加速度で動作している場合でも、その動作周波数成分が高い場合は、動作変位量が小さくなる。そのため、構造物6の共振振動を低減・抑制するためには必要な慣性負荷52の動作範囲は、第1の実施形態に比較して小さく、ストロークオーバの可能性は小さくなる。従って、本実施形態に係る装置は、振動検出手段3の出力信号に対して、適切なフィルタ処理を施し、除振台1と支持機構2

からなる振動系の比較的低周波数の固有振動成分をカットして構造物6の構造共振成分を抽出する、あるいは、受動的・能動的手段で慣性負荷52を所定中立位置に維持するための剛性を調整すれば、慣性負荷52の動作ストロークを小さく抑えつつも、構造物6の振動を効果的に低減・抑制できる。

【0104】

しかし、除振台1と支持機構2からなる振動系の固有振動数と、構造物6の共振周波数が比較的近い場合は、これらの処置によっても、除振台1と支持機構2からなる振動系の固有振動の影響の除去は困難で、この低周波数成分が能動制振装置の制御系に入力され、慣性負荷52の動作ストロークを大きくしてしまう。

【0105】

そこで、本実施形態においても、第1の実施形態と同様、非線形演算を含む補償演算を行う。つまり、構造物6の振動速度に比例した制御力を構造物6にフィードバックするなどして、構造物6の共振振動に減衰を付与する際に、第1の実施形態で詳細に説明した、数1で表されるような非線形関数が併用される。つまり、本実施形態に係る装置は、振動検出手段3の検出信号に線形補償演算を施し、さらにその演算結果に数1に示すような非線形演算を施し、その結果として得られた信号を用いて、直動制振ユニット50を制御する。なお、構造物6の共振振動の低減・抑制を目的とした本実施形態では、除振台1と支持機構2からなる振動系の低い周波数の固有振動の影響を極力回避するために、線形補償演算の前処理として、適切なフィルタ処理を施すことが望ましい。

【0106】

このような制御を施すことにより、制振対象としていない振動成分によって、慣性負荷52が大きく揺らされるおそれのある場合においても、慣性負荷52の動作範囲がストップ54で制限されたストロークの範囲に対して十分に余裕のある範囲内に収まる制御力で対処できる振動は、比較的高い制御ゲインにより良好な振動低減効果を確保し、大きな振動が発生した場合は、相対的に低い制御ゲインで制御された場合と等価の動作をすることで、慣性負荷52のストロークオーバーを発生させることなく、安定に制振制御を行うことができる。つまり、制約条件下で最大限の制振性能を得ることができるのである。

【0107】

前向き補償演算手段5についても、同様の考え方で制御できる。つまり、線形補償演算と非線形補償演算を併せて適用した補償演算を行うことができる。

ただし、本実施形態のように駆動手段を有するXYステージ45と、制振対象物である構造物6との締結が、振動的に十分に剛とみなせず、構造物6の共振振動が発生するような場合には、第1の実施形態のように、XYステージ45の駆動加速度、またはその駆動反力に比例する信号を基に、所望の制御帯域でそれに比例する制御力が除振台1に付与されるような線形補償演算を施すのではなく、別の補償演算を行う必要がある。XYステージ45と構造物6との間の機械剛性などを考慮に入れ、XYステージ45の動作によって構造物6に発生する振動を、直動制振ユニット50によってキャンセルできるような信号を生成する補償を行う必要がある。本実施形態は、この点が、第1の実施形態と異なる点である。

なお、前向き補償演算手段5において非線形補償演算を行うことにより、慣性負荷52の許容ストロークという制約条件下で最大限の制振性能を得られるという点は、第1の実施形態と同様であり、この点は、本発明によって得られる大きなメリットである。

【0108】

図9は、この種の構造物の共振振動を、補償演算手段4を用いたフィードバック制御動作で低減・抑制した場合のシミュレーション結果を例示しており、横軸に制振対象物に振動が発生してからの経過時間をとり、縦軸に、上方の図では制振対象物の加速度を、下方の図では慣性負荷の変位量を表している。図中(I)で示した線が、本発明に係る非線形補償演算を含む補償演算結果に基く制御結果、(II)で示した線が従来の線形補償演算のみに従って制御した結果である。ここでの非線形補償演算を含む補償演算は、(II)で示したと同様の線形補償演算を施した信号に対して、数1で表される非線形関数による補償を施すものとしている。

【0109】

この結果から明らかなように、非線形補償演算を適切に用いることにより、慣性負荷52の中立位置からの最大変位量を増大させることなく、制振対象物の振

動をより迅速に低減できることがわかる。

【0110】

以上のように、本発明に係る能動制振装置によれば、慣性負荷の可動ストロークや質量などに対する制約が大きい場合においても、振動抑制効果と、大振動入力時の安定動作とを両立させ、除振台に搭載された構造物の共振振動も安定かつ効果的に低減・抑制することができる。

【0111】

(第3の実施形態)

本発明の第3の実施形態では、露光性能に悪影響を及ぼす、振動を低減するための図8に示した能動制振装置を備えた、以下のような半導体露光装置を例として説明する。

【0112】

この第3の実施形態では、半導体露光装置を構成する片持ち支持構造の構造物に能動制振装置を取り付け、この構造物の、片持ち支持点を中心とした構造振動を低減・抑制するようにした装置を説明する。ここでは、制振対象とする片持ち支持構造の構造物を、原版であるレチクル上の回路パターンを光学レンズシステムを介して基板であるシリコンウェハに露光するための露光光を照射する照明光学系を構成する機械構造体とした場合の一実施例を説明する。

【0113】

図10は、半導体露光装置の構成の一実施形態を示す立面図である。

図10に示す装置では、装置設置基礎100の上に、除振装置92などの防振支持機構を介して、回路パターンを露光する基板としてのシリコンウェハを載置したウェハステージ94、および、ウェハステージ94を搭載するステージ定盤93が設置されている。ステージ定盤93は、鏡筒定盤97とともに定盤99に剛に締結され、ともに、除振装置92によって支持されている。鏡筒定盤97は、レチクルステージ95と、レチクルステージ95に載置されたレチクルと呼ばれる回路パターンの原版を、シリコンウェハに投影露光するために用いる光学レンズシステム96を搭載している。

【0114】

除振装置92は、装置設置基礎100に直接設置するのではなく、パレットやベースプレートなどと称される基礎構造物91に固定されている。基礎構造物91は、除振装置92の上に搭載された機器と、図10では省略した、除振装置92の上には搭載されていない、ウエハフィーダ、レチクルチェンジヤ、光源などの相対位置関係を維持するための基準、あるいは、半導体露光装置全体を載置して、一括して輸送するための基礎部材として機能する。また、基礎構造物91の下には、図10では省略したレベリングブロックなどと称される高剛性の高さ調整機構が設けられており、装置設置基礎100の状況に応じてこれを調整することで、半導体露光装置を所定の姿勢に設置できるようになっている。

【0115】

除振装置92としては、定盤99の振動をセンサなどで検出し、その信号を補償して得た信号に基き、定盤99に制御力を加えるアクチュエータを制御して、その振動を低減する能動除振装置などが用いられる。

【0116】

光学レンズシステム96は、レチクルステージ95とウエハステージ94の間に配置される。そして、照明光学系98から照射される露光光をレチクルに当て、レチクル上の回路パターンを光学レンズシステム96を介してシリコンウエハに投影露光する。

【0117】

半導体露光装置は、その露光方式により一括露光型（ステップ）、走査露光型（スキャナ）などに分類される。一括露光型の装置の場合は、ウエハステージ94をステップ・アンド・リピートと呼ばれる間欠的な動作方式で逐次駆動しながら、ある一定の露光エリア、例えば、ICなどの集積回路1個分のエリアを一括して露光する。一方、走査露光型の装置の場合は、ウエハステージ94とレチクルステージ95を同期動作させ、レチクル上の回路パターンをウエハ上に走査露光する。走査露光型の装置の場合、レチクルステージ95は、一括露光型の装置で必要とされるものに比較して、大きな動作ストロークを、比較的大きな駆動力で、駆動させられる。

【0118】

このような半導体露光装置は、ウエハステージ94やレチクルステージ95が駆動されたときに発生する振動や、装置設置基礎100から伝達してくる振動を大変に嫌う。そのために、本実施形態では、以降に説明する能動制振装置を用いて、半導体露光装置を構成する構造物に発生する振動を低減・抑制する。本実施形態では、このうち、照明光学系98を構成する機械構造物に発生する構造共振などの振動を低減・抑制する例を説明する。

【0119】

ここでは、図10の構成の半導体露光装置に本発明に係る能動制振装置を適用した場合を例として、能動制振装置については、便宜上図8を用いて、本発明の第3の実施形態を説明する。

【0120】

図8で模式的に表した能動制振装置は、除振台1、除振台1を防振支持する支持機構2、除振台1の上に搭載されたXYステージ45、除振台1に比較的高い剛性で締結された構造物6などを備えて構成されている。除振台1は図10で説明した定盤99に、支持機構2は除振装置92に、構造物6は照明光学系98を構成する構造物に、それぞれ相当する。XYステージ45は、ウエハステージ94、またはレチクルステージ95のいずれかに相当する。ウエハステージ94、およびレチクルステージ95はそれぞれステージ定盤93と鏡筒定盤97に搭載されているが、これらの定盤93、97は定盤99に剛に締結されており、力学的にはこれらステージ装置は定盤99に搭載されているのと等価になるので、図8ではXYステージ45は除振台1に搭載されるものとして表している。

【0121】

構造物6は、図8に示すように片持ち支持構造になっている。

ここでは、構造物6は照明光学系98を構成する構造物として設定してある。照明光学系98は、前述のとおり、レチクル上の回路パターンを光学レンズシステム96を介してシリコンウエハに投影露光するための露光光を照射するものであるため、シリコンウエハ、光学レンズシステム96、レチクルの延長線上に配置される。従って、図10の半導体露光装置のように露光光の光軸を鉛直方向にとった場合、シリコンウエハ、光学レンズシステム96、レチクルの直上に、照

明光学系98の露光光の照射口が位置するよう設計する必要があるが、この際、露光装置を構成する構造物の配置設計の都合から、図8に模式的に示したような片持ち構造によって、この照明光学系98の構造体を構成しなければならない場面が多々ある。

【0122】

このような構成の構造物では、支持点を中心とした回転運動方向の振動が発生しやすい。図15、および図16には、この構造物6の片持ち支持構造に起因した回転振動の例を示す。図15は片持ち支持点を中心とした水平軸まわりの回転振動、図16は鉛直軸まわりの回転振動の例であり、それらの回転振動の方向を図中矢印で、回転振動の中心軸を一点鎖線で、それぞれ示す。図8では、図16に例示した鉛直軸まわりの回転振動を低減・抑制する装置の例を示している。

【0123】

本実施形態では、このような構造物の振動を低減・抑制する装置、および、その動作を説明する。

【0124】

本実施形態に係る装置では、以上のような構成の装置において、ここでの制振対象物である構造物6に制御力を加える直動制振ユニット50、構造物6の振動を検出する振動検出手段3、振動検出手段3の出力信号に基き、制振対象物の振動に相当する信号に適切な補償演算処理を施す補償演算手段4、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態、または、その制御手段からの信号に対して補償演算処理を施す前向き補償演算手段5などを備える。

【0125】

直動制振ユニット50は、制振対象物である構造物6に固定されており、図2に示すとおり、駆動信号に応じて推力を発生する直動アクチュエータ51、直動アクチュエータ51に接続され、除振台1に対して相対的に直線方向に運動する慣性負荷52、ベース部材53、慣性負荷52の動作範囲をある一定の範囲内に制限するストッパ54、直動アクチュエータ51の駆動回路55などを備える。駆動回路55は、直動アクチュエータ51、慣性負荷52などとは別にして、構造物6や除振台1などの半導体露光装置本体に搭載しない構成としてもよい。

【0126】

図3は、直動アクチュエータ51、および慣性負荷52などを示す斜視図である。慣性負荷52は、同図ではその詳細構成を省略したリニアガイドなどで図示矢印A方向に運動可能な状態で支持され、直動アクチュエータ51が発生する推力によって、同矢印Aで示した直線方向に駆動される。直動アクチュエータ51は、固定子51aと可動子51bとからなり、固定子51aは制振対象物に剛に締結されており、可動子51bは慣性負荷52が接続されて制振対象物に対して直線方向に可動な構造になっている。

【0127】

直動アクチュエータ51には、コイル巻線を固定子51aに、永久磁石を可動子51bにそれぞれ配置し、このコイル巻線に流れる電流と永久磁石による磁界との相互作用によって図示矢印Aの直線方向の推力を発生する、電磁駆動のリニアモータを好適に用いることができる。このような電磁駆動のリニアモータは、駆動回路55を用いてコイル巻線に流れる電流を制御することで、その発生推力を容易に制御できる。

【0128】

もちろん、直動アクチュエータ51には、DCサーボモータなどの回転電磁アクチュエータと、そのトルクを直線方向の推力に変換して慣性負荷52を直線方向に運動させる送りネジ機構とからなるタイプのアクチュエータなど、これ以外の様々なタイプのアクチュエータも用いることができることはいうまでもない。

このような直動アクチュエータ51は、図2に示すように、ベース部材53を介して制振対象物である構造物6に固定され、慣性負荷52を制振対象物たる構造物6に対して直線方向に変位させるように推力を発生する。慣性負荷52を変位させるために直動アクチュエータ51に推力を発生させると、慣性負荷52に作用する推力の反作用力が制振対象物に作用する。本実施形態に係る制振装置は、この反作用力を振動制御のための制御力として利用する。つまり、この制振装置は、慣性負荷52を駆動するために直動アクチュエータ51が発生する駆動力を調整することで、その反作用として制振対象物に加わる推力を制御する。

制振対象物である構造物6の振動を検出する振動検出手段3には、加速度セン

サ、または速度センサなどを用いることができる。

【0129】

本実施形態では、図16に示したような回転振動を制振するため、直動制振ユニット50を、この回転振動の運動方向に効率的に作用するよう、極力、片持ち支持点から離れた位置で、該回転振動方向の接線方向に作用するよう、配置することが望ましい。同様に、振動検出手段3も、該回転振動を効率よく検出できるよう配置する。振動検出手段3は、望ましくは、直動制振ユニット50の直近に配置する。

【0130】

次に、本実施形態に係る装置の動作について、図8を参照して説明する。

本実施形態に係る装置は、振動検出手段3や補償演算手段4を用いて、制振対象物である構造物6の振動に相当する信号を補償して得た信号を直動制振ユニット50にフィードバックする制御動作と、前向き補償演算手段5を用いて除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態、または、その制御手段46からの情報を直動制振ユニット50にフィードフォワードする制御動作などを行う。

【0131】

まず、振動検出手段3、補償演算手段4などを用いたフィードバック制御動作を説明する。

フィードバック制御動作では、装置設置基礎からの振動伝達、あるいは、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作によって発生する構造物6の振動を、構造物6に設置された振動検出手段3を用いて検出し、その検出信号に対して補償演算手段4にて、適切に補償演算処理を施す。そして、その結果として得られた信号に基いて、直動制振ユニット50を駆動し、構造物6の振動を低減・抑制する。

【0132】

補償演算手段4では、例えば、構造物6の構造共振に減衰特性を付与するために、構造物6の振動速度に比例する制御力が、直動制振ユニット50によって構造物6に加えられるような補償演算を施す。これは、振動検出手段3として加速

度センサを用い、直動制振ユニット50における直動アクチュエータ51として、応答性の高い電磁駆動モータなどを用いた場合、補償演算手段4によって、振動検出手段3で検出された構造物6の振動加速度に相当する信号に対して積分補償演算を中心とした補償演算を施すことにより実現できる。電磁駆動モータは、構造物6の共振周波数より高い周波数まで優れた応答特性を示すものがあるため、減衰特性を必要とする該共振周波数付近の周波数領域では、電磁駆動モータは駆動電流指令信号を受けて、該信号の指令する推力にほぼ一致する推力を瞬時に発生できる。従って、振動検出手段3で検出される構造物6の加速度信号に対して、積分補償を施して速度に比例する信号を得、これをフィードバックすればよい。同様の考え方従えば、振動検出手段3として速度センサを用いた場合、補償演算手段4では、比例補償演算を施せばよいことはいうまでもない。

【0133】

なお、ここでは、補償演算手段4における補償演算を、構造物6の構造共振に減衰特性を付与する場合を例にして説明したが、加速度や速度などの振動に関する信号を適宜複合して利用し、積分補償や比例補償、それ以外の補償演算をも併せて適用し、構造物6の振動を適切な状態に制御してもよい。

【0134】

また、ここで制振対象としている構造物6は、通常、数十Hz以上の周波数で構造的な共振振動を発生するのに対して、構造物6を締結・搭載している除振台1とその支持機構2からなる振動系は、通常、10Hz以下の比較的低い固有振動数を有する。そのため、除振台1と支持機構2からなる振動系の低周波数の固有振動が振動検出手段3で検出され、能動制振装置の制御系に入力されると、その影響で直動制振ユニット50に構成される慣性負荷52の動作ストロークを必要以上に大きくしてしまうことがある。

【0135】

ここでの制振対象は、構造物6の構造共振である。従って、補償演算手段4では、さきに説明した補償演算処理に加えて、振動検出手段3の出力信号に対して、適切なフィルタ処理を施し、除振台1と支持機構2からなる振動系の比較的低周波数の固有振動成分をカットして構造物6の構造共振成分を抽出する処理、

あるいは、能動的な手段で慣性負荷52を所定中立位置に復元するための剛性を付与するための処理などを施して、慣性負荷52の動作ストロークを小さく抑えつつも、構造物6の振動を効果的に低減・抑制するような演算処理を行うようになる。ただし、慣性負荷52を所定中立位置に復元するための剛性を付与する手段には、ばね機構などの受動的な素子を用いてもよい。

【0136】

また、補償演算手段4で行う補償演算は、以上に説明したような線形補償演算に限られたものではなく、用途や目的に応じて様々な非線形演算、例えば、第1、第2の実施形態において説明したような非線形演算処理をも適用できることはいうまでもない。

【0137】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードバック制御動作は、このような補償演算を施す補償演算手段4で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。

【0138】

次に前向き補償演算手段5を用いたフィードフォワード制御動作を説明する。

前向き補償演算手段5は、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態などを示す信号に対して補償演算を施して、適切な振動制御をするための信号を生成する補償演算を行うものである。以下に、フィードフォワード制御動作を詳述する。

【0139】

図8に示すように、除振台1に、XYステージ45などの駆動手段を備えた機器が搭載されているとする。このXYステージ45は電磁駆動リニアモータなどにより駆動される。このXYステージ45を駆動する電磁駆動リニアモータは、XYステージ制御手段46からの信号に基き、XYステージ駆動回路47を介して駆動される。

【0140】

前向き補償演算手段5では、XYステージ制御手段46からの信号、またはXYステージ45の駆動状態に関する信号に基き、XYステージ45の駆動反力に

よって発生する構造物6の振動を、直動制振ユニット50で効果的に低減・抑制すべく、適切な演算処理を施す。前向き補償演算手段5では、XYステージ45の駆動反力と、それによって構造物6に発生する振動との間の動特性、およびXYステージ45と構造物6との間の機械剛性などを考慮し、XYステージ45の動作によって発生する構造物6の振動をキャンセルするような信号を生成する補償演算を行う。もちろん、この補償演算は、線形補償演算に限定されることはなく、さきに説明したような非線形演算を適用する、あるいは、併用することもできる。

【0141】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードフォワード制御動作は、このようにして前向き補償演算手段5で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。

【0142】

なお、ここでは、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作とを、それぞれ個別に説明したが、双方の補償演算結果を加算した信号に基いて、直動制振ユニット50を駆動することで、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作との、双方を同時に機能させてもよい。もちろん、フィードバック制御動作、およびフィードフォワード制御動作のいずれか一方のみで制御を行ってもよいことはいうまでもない。

【0143】

また、ここでは、直動制振ユニット50を1台用いて、構造物6の振動を低減・抑制する場合を例に説明したが、以上に説明した直動制振ユニット、および、その制御系を複数配置して、所望の制振効果を得るような構成としてもよい。

【0144】

さらに、ここでは、制振対象物を片持ち支持の構造物として説明したが、これ以外の種類の振動モードを有する構造物においても、直動制振ユニット50を、振動が最も顕著に現れる、振動モードの腹の部分に設置して、該振動を低減するようにしてもよい。この場合も、振動検出手段3は、直動制振ユニット50の直近に配置することが望ましい。

【0145】

以上のような能動制振装置を備えた半導体露光装置では、照明光学系を構成する機械構造物のような片持ち支持構造物の構造共振をはじめとする、露光装置の様々な構造物振動を低減・抑制できるため、この種の振動による機器への悪影響を低減あるいは解消することができる。そのため、高い精度、高いスループットを有する、高性能の半導体露光装置を実現することができる。

【0146】

(第4の実施形態)

第3の実施形態で制振対象したような、片持ち支持構造物の支持点を中心とした回転方向の振動の低減・抑制には、回転運動方向に作用する構造の能動制振装置を好適に使用できることがある。本発明の第4の実施形態では、この種の構造物の振動を、回転運動方向に作用する能動制振装置を用いて抑制する構造を備えた半導体露光装置について説明する。

【0147】

本実施形態の説明は、図11を用いて行う。

なお、本実施形態でも、基本的には、図10で示した半導体露光装置の振動低減を行う場合を例にして説明する。従って、図11において、図8と同じ符号を付したものは、図8の装置と同じ構造・機能を有し、同様に動作するものであるものとして、ここではその詳細な説明は省略する。また、ここで低減・抑制しようとする振動の方向も第3の実施形態と同じく、図16中で矢印で示した方向であるとする。

【0148】

本実施形態に係る装置は、図11に示すように、第3の実施形態で説明した直動制振ユニット50の代わりに、回転制振ユニット60を備える。また、本実施形態において、制振対象とする構造物6の振動の検出には、構造物6の所定回転振動を検出する回転振動検出手段3c、その検出信号に適切な補償演算を加える手段には、補償演算手段4c、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態を示す信号に対して補償演算を施す手段には、前向き補償演算手段5cなどを用いる。

【0149】

回転振動検出手段3cとしては、構造物6上に配置された複数の振動センサの出力信号に基き、構造物6の回転方向の振動成分を演算によって抽出するようにしたもの、あるいは、構造物6の回転方向の運動量を直接検出する角速度センサなどを用いることができる。前者の場合、振動センサとしては加速度センサ、または速度センサなどを用いることができ、これらの複数台数の振動センサの検出軸が、同一直線上に並ばないように配置する。そしてこれらの振動センサの出力信号を基に、その幾何配置を考慮した演算式に従って、所望の回転振動に相当する信号を抽出する。

【0150】

なお、ここで検出する回転振動の方向は、回転制振ユニット60のトルク発生方向と同じで、ここで低減・抑制しようとしている回転振動の方向である。

【0151】

回転制振ユニット60は、構造物6に固定されており、図12に示すとおり、駆動信号に応じてトルクを発生する回転アクチュエータ61と、回転アクチュエータ61に接続され、構造物6に対して相対的に回転方向に運動する慣性要素であるフライホイール62と、回転アクチュエータ61の駆動回路63などを備える。

【0152】

図13は、回転アクチュエータ61、およびフライホイール62を示す斜視図である。フライホイール62は、回転アクチュエータ61が発生するトルクによって、回転方向に駆動される。回転アクチュエータ61は、固定子と回転子とかなるが、構造物6にはそのいずれか一方が剛に締結されており、他方にはフライホイール62が締結されて構造物6に対して回転方向に可動な構造になっている。回転制振ユニット60は、その作用中心軸の延長線が、制振対象物の回転振動の回転中心位置を通るように配置することが望ましい。

【0153】

回転アクチュエータ61には、電磁駆動の各種モータ、つまり、DCモータ、同期式ACモータ、誘導式ACモータ、または揺動型の電磁駆動モータ、などの

いずれかを用いることができる。なお、これらのアクチュエータについての詳細な説明は、特許願2000-122731号で提案している「能動制振装置」などでなされている。

【0154】

このような回転アクチュエータ61が駆動されると、それによって発生するトルクによりフライホイール62は、図13において矢印で示すように、回転方向に駆動される。その際に発生する回転方向の駆動反力によって、構造物6には図11に示す矢印方向のトルクが作用する。本実施形態に係る回転制振ユニット60は、この反作用トルクを利用して、構造物6に作用するトルクを制御する。

【0155】

次に、本実施形態に係る装置の動作について、図11を参照にして説明する。

本実施形態に係る装置では、回転振動検出手段3cと、補償演算手段4cなどを用いて、構造物6の振動の補償信号を回転制振ユニット60にフィードバックする制御動作と、前向き補償演算手段5cを用いて構造物6に影響を及ぼす駆動手段を有する機器の動作状態などの情報を回転制振ユニット60にフィードフォワードする制御動作などとを行う。

【0156】

まず、回転振動検出手段3c、および補償演算手段4cを用いたフィードバック制御動作を説明する。

【0157】

この制御動作においては、まず、装置設置基礎からの振動伝達、あるいは、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作によって発生する構造物6の回転振動を、回転振動検出手段3cを用いて検出する。図11では、回転振動検出手段3cとして角速度センサを適用した場合を例示している。そして、その検出信号に基き、補償演算手段4cにて、適切に補償演算処理を施す。

【0158】

例えば、構造物6の回転振動に減衰特性を付与しようとする場合は、構造物6の回転速度に比例するトルクが構造物6に加えられるように演算を施す。これは、回転振動検出手段3cとして角速度センサを用い、回転制振ユニット60にお

ける回転アクチュエータ61として、応答性の高い電磁駆動のDCモータなどを用いた場合、補償演算手段4cで、所望回転振動に相当する信号に対して比例補償演算を施すことによって実現できる。DCモータは、構造物6の共振周波数より高い周波数まで優れた応答特性を示すように製作できるため、そのようなDCモータを用いれば、減衰特性を必要とする主たる制御帯域では電流駆動指令信号が指令するトルクにほぼ一致するトルクを瞬時に発生できる。従って、角速度センサの検出信号にゲイン補償を施して得た信号を、回転制振ユニット60における駆動回路63に入力すれば、構造物6の回転振動に減衰特性を付与できる。

【0159】

なお、ここでは、補償演算手段4cにおける補償演算を、角速度センサを用いて構造物6の回転振動に減衰特性を付与する場合を例にして説明したが、これ以外のセンサや物理量を用い、その検出信号に用途に応じた適切な補償演算を施して、構造物6の回転振動を適切な状態に制御するものであってもよい。補償演算は、必要であれば、非線形補償演算、あるいは非線形演算を含む補償演算であってもよい。

【0160】

次に前向き補償演算手段5cを用いた動作を説明する。

前向き補償演算手段5cは、除振台1上に搭載されたXYステージ45などの機器の動作状態、または、その制御手段46からの信号に補償演算を施して、適切な振動制御をするための信号を生成する演算を行うものである。

【0161】

図11に示すように、除振台1に、XYステージ45などの駆動手段を備えた機器が搭載されているとする。このXYステージ45は、電磁駆動リニアモータなどにより駆動される。このXYステージ45を駆動する電磁駆動リニアモータは、XYステージ制御手段46からの信号に基き、XYステージ駆動回路47を介して駆動される。XYステージ45は必ずしも、除振台1およびその搭載機器からなる装置全体の重心位置に設置できないため、その駆動反力によって、並進方向の反作用推力とともに、水平軸、および鉛直軸まわりの回転方向のモーメントを発生し、除振台1や構造物6を回転方向に励振する。そこで、この影響を抑

制し、構造物6の回転振動を効果的に低減・抑制するために、前向き補償演算手段5cを用いて、XYステージ制御手段46からの信号、または、XYステージ45の駆動状態に関する信号に適切な演算処理を施し、その演算結果に基いて回転制振ユニット60を駆動する。

【0162】

前向き補償演算手段5cでは、XYステージ45の駆動反力とそれによって構造物6に発生する振動との間の動特性と、XYステージ45と構造物6との間の機械剛性などを考慮し、XYステージ45の動作によって発生する構造物6の振動をキャンセルするような信号を生成する補償演算を行う。もちろん、この補償演算は、線形補償演算に限定されることはなく、非線形演算を適用する、あるいは、併用することもできる。

【0163】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードフォワード制御動作は、このようにして前向き補償演算手段5cで得られる信号に基き、回転制振ユニット60を制御することで実現する。これにより、露光用XYステージ45の動作によって発生する構造物6の回転振動を効果的に低減し、抑制することができる。

【0164】

なお、ここでは、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作とを、それぞれ個別に説明したが、双方の補償演算結果を加算した信号に基いて、回転制振ユニット60を駆動することで、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作との、双方を同時に機能させてもよい。もちろん、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作とのいずれか一方のみで制御を行ってもよいことはいうまでもない。

【0165】

第3の実施形態で説明したように、直動制振ユニットを用いた能動制振装置でも、構造物6の回転振動を低減・抑制することは可能である。しかし、1台の直動制振ユニットだけを用いた能動制振装置では、回転運動方向のモーメントのみならず、並進運動方向の作用力も発生してしまうため、その適用箇所によっては、十分に制振効果が得られないことがある。回転振動の低減・抑制には、2台以

上の直動制振ユニットを用いることが望まれる場合があるのである。

【0166】

これに対し、本実施形態に係る装置によれば、回転運動方向の制振動作を行うための装置として、回転アクチュエータとフライホイールとからなる回転制振ユニットを用いるため、1台の制振ユニットで必要な作用力、つまり、トルクを得ることができる。よって、回転運動モードへの作用力の発生機構をよりコンパクトにすることことができ、この種の機器を搭載する空間にサイズ的、重量的な制約がある精密機器においても、良好な制振効果を得ることができる。

【0167】

なお、本実施形態に係る能動制振装置は制振対象の回転振動を低減するための装置である。これに、第3の実施形態で説明したような直動制振ユニットを用いた能動制振装置を併用して、回転振動とともに、並進運動方向の振動も低減することで、振動低減効果を高めることができることはいうまでもない。

【0168】

(第5の実施形態)

本発明の第5の実施形態では、図10に示した半導体露光装置全体を載置する基礎構造物91の振動低減に、能動制振装置を適用した例を説明する。

基礎構造物91は、基本的には、防振支持手段を介さずに装置設置基礎100に設置されるので、装置設置基礎100の振動の影響を直接的に受けるうえに、基礎構造物91自体の構造共振や、装置の水準を出すために基礎構造物91と装置設置基礎100との間に配置する高さ調整機構（レベリングブロック）などの影響で、共振振動をも生じる。

【0169】

本実施形態に係る装置は、基礎構造物91に能動制振装置を設置して、この種の振動を低減することで、除振装置92を介して装置設置基礎100や基礎構造物91から半導体露光装置本体に伝達する振動量を低減するものである。

【0170】

図14に、本実施形態に係る装置の構成例を示す。この装置は、基本的には図10に示したものと同じタイプの半導体露光装置に対して、能動制振装置を適用

したものである。従って、図10の装置と同じ役割、機能等を有するものに対しては、図10と同じ符号を付して示してあり、これらの説明は省略する。

【0171】

本実施形態における装置では、第3の実施形態で詳細に説明した直動制振ユニット50と、振動検出手段3とが、基礎構造物91に設置されている。そして、これらと、振動検出手段3で検出した基礎構造物91の振動に相当する信号に補償演算処理を施す補償演算手段4と、ウエハステージ94やレチクルステージ95などのステージ装置の動作状態、または、その制御手段46bからの信号に補償演算を施す前向き補償演算手段5などを用いて、基礎構造物91の振動を低減・抑制する。

【0172】

次に、本実施形態に係る装置の動作について説明する。

本実施形態に係る装置においても、振動検出手段3や補償演算手段4を用いて、制振対象物である基礎構造物91の振動に相当する信号を補償した信号を直動制振ユニット50にフィードバックする制御動作と、前向き補償演算手段5を用いてステージ装置の動作状態、または、その制御手段であるステージ制御手段46bからの情報を直動制振ユニット50にフィードフォワードする制御動作などとを行う。

【0173】

まず、振動検出手段3、および補償演算手段4などを用いたフィードバック制御動作を説明する。フィードバック制御動作は、基礎構造物91に発生する振動を振動検出手段3を用いて検出し、その検出信号に対して補償演算手段4にて適切に補償演算を施し、得られた信号に基いて直動制振ユニット50を駆動し、基礎構造物91の振動を低減・抑制するものである。

【0174】

補償演算手段4では、基礎構造物91の振動を低減・抑制するために、目的に応じた各種補償演算を行う。例えば、基礎構造物91の構造共振に減衰特性を付与しようとする場合は、基礎構造物91の振動速度に比例する制御力がこれに加えられるような補償演算を施す。その場合に行う補償演算の具体的な内容に関し

ては、第3の実施形態と同様なので、ここでは説明を省略する。

【0175】

また、基礎構造物91の振動の低減・抑制を目的とした本実施形態における装置では、基礎構造物91の振動の絶対変位に比例する制御力がこれに加えられるようになりますことで、空間絶対静止座標系に対する剛性を高める、スカイフックスプリング制御を適用することも効果的である。これは、振動検出手段3として加速度センサを用い、直動制振ユニット50における直動アクチュエータ51として、応答性の高い電磁駆動モータなどを用いた場合、補償演算手段4では、振動検出手段3で検出された基礎構造物91の振動加速度に相当する信号に対して二重積分補償演算を中心とした補償演算を施すことにより実現できる。このようなスカイフックススプリング制御によれば、基礎構造物91の構造共振周波数以外の振動成分をも低減・抑制することができる。

【0176】

もちろん、加速度や速度など、振動に関する各種の信号を適宜複合して利用し、非線形補償を含む、前記以外の補償演算を適用、あるいは、併用して、基礎構造物91の振動を適切な状態に制御してもよい。

【0177】

また、本実施形態における装置においても、補償演算手段4では、さきに説明した補償演算処理に加えて、振動検出手段3の出力信号に対して適切なフィルタ処理を施すことで制振したい周波数成分を抽出する、あるいは、能動的手段で慣性負荷52を所定中立位置に復元するための剛性を付与する、などの処理を併せて行うようにすることもできる。

【0178】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードバック制御動作は、このような補償演算を施す補償演算手段4で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。

【0179】

次に前向き補償演算手段5を用いたフィードフォワード制御動作を説明する。

本実施形態における前向き補償演算手段5では、ステージ制御手段46bから

の信号、または、ウエハステージ94や、レチクルステージ95などのステージ装置の駆動状態に関する信号に基き、その駆動反力によって発生する基礎構造物91の振動を、直動制振ユニット50で効果的に低減・抑制すべく、適切な演算処理を施す。前向き補償演算手段5では、ステージ装置の駆動反力と、その作用力が除振装置92を介して伝わることによって基礎構造物91に発生する振動との間の動特性、ステージ装置と基礎構造物91との間の機械剛性などを考慮し、ステージ装置の動作によって発生する基礎構造物91の振動をキャンセルするような信号を生成する補償を行う。もちろん、この補償演算は、線形補償演算に限定されることはなく、非線形演算を適用する、あるいは、併用することもできる

【0180】

本実施形態に係る能動制振装置のフィードフォワード制御動作は、このようにして前向き補償演算手段5で得られる信号に基き、直動制振ユニット50を制御することで実現する。

【0181】

なお、ここでは、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作とを、それぞれ個別に説明したが、双方の補償演算結果を加算した信号に基いて、直動制振ユニット50を駆動することで、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作との、双方を同時に機能させてもよい。もちろん、フィードバック制御動作と、フィードフォワード制御動作とのいずれか一方のみで制御を行ってもよいことはいうまでもない。

【0182】

本実施形態に係る装置では、能動制振装置によって基礎構造物91の振動を低減するので、除振装置92を介して、装置設置基礎100や基礎構造物91から装置本体に伝達する振動の量が抑制され、結果として、半導体露光装置本体に発生する振動の低減・抑制に寄与することができる。

【0183】

装置設置基礎100または基礎構造物91の振動の装置本体への伝達量を低減する手法としては、除振装置92に能動除振装置を適用した場合において、装置

設置基礎100または基礎構造物91の振動をセンサで検出し、その補償信号に基いて該能動除振装置を制御する手法が提案・開発されている。これは、制御構成としてはフィードフォワード制御の形態となるが、ここでフィードフォワードする信号は、その発生メカニズムに不確定要因の多い、装置設置基礎振動の検出信号である。そのために制御動作が、不確定なものになるおそれがあり、制御動作の信頼性の点で弱点があった。フィードフォワード制御では、フィードフォワードする信号が適切なものではない場合、それは単なる外乱になってしまう。

【0184】

一方、本実施形態で説明した手法は、装置設置基礎側の構造物の振動自体を低減するため、この種のフィードフォワード制御と同様の制御効果を実現できるうえに、制御系動作が、基礎構造物91の振動のフィードバック制御、あるいは、確定的な動作をするステージ装置の動作信号に基くフィードフォワード制御によるものであるため、その制御動作における不確定要因は、装置設置基礎振動のフィードフォワード制御に比較して小さい。従って、より信頼性の高い動作によって所望の振動低減・抑制効果を得ることができるというメリットがある。

【0185】

(半導体生産システムの実施形態)

次に、本発明に係る装置等を用いた半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の生産システムの例を説明する。これは半導体製造工場に設置された製造装置のトラブル対応や定期メンテナンス、あるいはソフトウェア提供などの保守サービスを、製造工場外のコンピュータネットワークを利用して行うものである。

【0186】

図19は全体システムをある角度から切り出して表現したものである。図中、101は半導体デバイスの製造装置を提供するベンダ（装置供給メーカー）の事業所である。製造装置の実例としては、半導体製造工場で使用する各種プロセス用の半導体製造装置、例えば、前工程用機器（露光装置、レジスト処理装置、エッチング装置等のリソグラフィ装置、熱処理装置、成膜装置、平坦化装置等）や後工程用機器（組立て装置、検査装置等）を想定している。事業所101内には、

製造装置の保守データベースを提供するホスト管理システム108、複数の操作端末コンピュータ110、これらを結んでイントラネット等を構築するローカルエリアネットワーク（LAN）109を備える。ホスト管理システム108は、LAN109を事業所の外部ネットワークであるインターネット105に接続するためのゲートウェイと、外部からのアクセスを制限するセキュリティ機能を備える。

【0187】

一方、102～104は、製造装置のユーザとしての半導体製造メーカーの製造工場である。製造工場102～104は、互いに異なるメーカーに属する工場であっても良いし、同一のメーカーに属する工場（例えば、前工程用の工場、後工程用の工場等）であっても良い。各工場102～104内には、夫々、複数の製造装置106と、それらを結んでイントラネット等を構築するローカルエリアネットワーク（LAN）111と、各製造装置106の稼動状況を監視する監視装置としてホスト管理システム107とが設けられている。各工場102～104に設けられたホスト管理システム107は、各工場内のLAN111を工場の外部ネットワークであるインターネット105に接続するためのゲートウェイを備える。これにより各工場のLAN111からインターネット105を介してベンダ101側のホスト管理システム108にアクセスが可能となり、ホスト管理システム108のセキュリティ機能によって限られたユーザだけにアクセスが許可となっている。具体的には、インターネット105を介して、各製造装置106の稼動状況を示すステータス情報（例えば、トラブルが発生した製造装置の症状）を工場側からベンダ側に通知する他、その通知に対応する応答情報（例えば、トラブルに対する対処方法を指示する情報、対処用のソフトウェアやデータ）や、最新のソフトウェア、ヘルプ情報などの保守情報をベンダ側から受け取ることができる。各工場102～104とベンダ101との間のデータ通信および各工場内のLAN111でのデータ通信には、インターネットで一般的に使用されている通信プロトコル（TCP/IP）が使用される。なお、工場外の外部ネットワークとしてインターネットを利用する代わりに、第三者からのアクセスができずにセキュリティの高い専用線ネットワーク（ISDNなど）を利用することもでき

る。また、ホスト管理システムはベンダが提供するものに限らずユーザがデータベースを構築して外部ネットワーク上に置き、ユーザの複数の工場から該データベースへのアクセスを許可するようにしてもよい。

【0188】

さて、図20は本実施形態の全体システムを図19とは別の角度から切り出して表現した概念図である。先の例ではそれぞれが製造装置を備えた複数のユーザ工場と、該製造装置のベンダの管理システムとを外部ネットワークで接続して、該外部ネットワークを介して各工場の生産管理や少なくとも1台の製造装置の情報をデータ通信するものであった。これに対し本例は、複数のベンダの製造装置を備えた工場と、該複数の製造装置のそれぞれのベンダの管理システムとを工場外の外部ネットワークで接続して、各製造装置の保守情報をデータ通信するものである。図中、201は製造装置ユーザ（半導体デバイス製造メーカー）の製造工場であり、工場の製造ラインには各種プロセスを行う製造装置、ここでは例として露光装置202、レジスト処理装置203、成膜処理装置204が導入されている。なお図20では製造工場201は1つだけ描いているが、実際は複数の工場が同様にネットワーク化されている。工場内の各装置はLAN206で接続されてイントラネットを構成し、ホスト管理システム205で製造ラインの稼動管理がされている。

【0189】

一方、露光装置メーカー210、レジスト処理装置メーカー220、成膜装置メーカー230などベンダ（装置供給メーカー）の各事業所には、それぞれ供給した機器の遠隔保守を行うためのホスト管理システム211、221、231を備え、これらは上述したように保守データベースと外部ネットワークのゲートウェイを備える。ユーザの製造工場内の各装置を管理するホスト管理システム205と、各装置のベンダの管理システム211、221、231とは、外部ネットワーク200であるインターネットもしくは専用線ネットワークによって接続されている。このシステムにおいて、製造ラインの一連の製造機器の中のどれかにトラブルが起きると、製造ラインの稼動が休止してしまうが、トラブルが起きた機器のベンダからインターネット200を介した遠隔保守を受けることで迅速な対応が可

能であり、製造ラインの休止を最小限に抑えることができる。

【0190】

半導体製造工場に設置された各製造装置はそれぞれ、ディスプレイと、ネットワークインターフェースと、記憶装置にストアされたネットワークアクセス用ソフトウェアならびに装置動作用のソフトウェアを実行するコンピュータを備える。記憶装置としては内蔵メモリやハードディスク、あるいはネットワークファイルサーバーなどである。上記ネットワークアクセス用ソフトウェアは、専用又は汎用のウェブブラウザを含み、例えば図21に一例を示す様な画面のユーザインターフェースをディスプレイ上に提供する。各工場で製造装置を管理するオペレータは、画面を参照しながら、製造装置の機種401、シリアルナンバー402、トラブルの件名403、発生日404、緊急度405、症状406、対処法407、経過408等の情報を画面上の入力項目に入力する。入力された情報はインターネットを介して保守データベースに送信され、その結果の適切な保守情報が保守データベースから返信されディスプレイ上に提示される。またウェブブラウザが提供するユーザインターフェースはさらに図示のごとくハイパーリンク機能410～412を実現し、オペレータは各項目の更に詳細な情報にアクセスしたり、ベンダが提供するソフトウェアライブラリから製造装置に使用する最新バージョンのソフトウェアを引出したり、工場のオペレータの参考に供する操作ガイド（ヘルプ情報）を引出したりすることができる。ここで、保守データベースが提供する保守情報には、上記説明した本発明に関する情報も含まれ、また前記ソフトウェアライブラリは本発明を実現するための最新のソフトウェアも提供する。

【0191】

次に上記説明した生産システムを利用した半導体デバイスの製造プロセスを説明する。図22は半導体デバイスの全体的な製造プロセスのフローを示す。ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5（

組み立て)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の組立て工程を含む。ステップ6(検査)ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これを出荷(ステップ7)する。前工程と後工程はそれぞれ専用の別の工場で行い、これらの工場毎に上記説明した遠隔保守システムによって保守がなされる。また前工程工場と後工程工場との間でも、インターネットまたは専用線ネットワークを介して生産管理や装置保守のための情報がデータ通信される。

【0192】

図23は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11(酸化)ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12(CVD)ではウエハ表面に絶縁膜を成膜する。ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14(イオン打込み)ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15(レジスト処理)ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ16(露光)では上記説明した本発明に係る能動制振装置またはその制御方法を用いた露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ17(現像)では露光したウエハを現像する。ステップ18(エッティング)では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ19(レジスト剥離)ではエッティングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンを形成する。各工程で使用する製造機器は上記説明した遠隔保守システムによって保守がなされているので、トラブルを未然に防ぐと共に、もしトラブルが発生しても迅速な復旧が可能であり、従来に比べて半導体デバイスの生産性を向上させることができる。

【0193】

【発明の効果】

以上、説明したように、本発明に係る能動制振装置は、慣性負荷を駆動するときの反作用力を制御力として利用する制振ユニットを用いて、制振対象物の振動を低減・抑制する。つまり、装置の外部に不要な力を発生することなく、制振対

象物の振動を低減するため、振動を低減・抑制するための力の反作用力によって、装置設置基礎や周辺環境の振動を励振しないというメリットがある。また、この装置は、制振対象物への作用力を、外部機器と制振対象物との間で発生させるのではなく、制振ユニット内の慣性負荷の駆動反力によって得る構造であるため、制振装置を適切な形状に製作することができれば、機器の構造共振の低減のために用いられてきたダッシュポットや、剛性確保のための補強部材などが取り付けられないような場所にも、該制振装置を適用して振動低減効果を得ることができる。

【0194】

その上、本発明に係る能動制振装置は、制振対象物の振動の検出信号や、制振対象物の加振源となるXYステージのような駆動手段を有する機器の動作状態、またはその制御手段からの信号を、非線形演算を含む演算処理により補償して、その結果として得られた信号に基き制振ユニットを駆動し、制振対象物の振動の低減・抑制をする。そのために、制振ユニットにおける慣性負荷の動作範囲がその許容ストロークの範囲に対して十分に余裕のある範囲内に収まる制御力で対処できる振動は、比較的高い制御ゲインにより高い制振性能を確保し、慣性負荷がストロークオーバーするような大きな振動が発生した場合には、慣性負荷のストロークオーバーが発生しないように制御信号を抑制して、安定動作を確保するなどの制御動作が可能となる。つまり、慣性負荷の可動ストロークや質量などに対する制約が大きい場合においても、振動抑制効果と大振動入力時の安定動作を両立させ、制約条件下で最大限の制振性能を得ることができる。

【0195】

また、本発明に係る半導体露光装置は、慣性負荷を駆動するときの反作用力を制御力として利用する制振ユニットを用いて、制振対象物の振動を低減・抑制する能動制振装置を構成している。そのため、従来の除振脚式の除振装置では対応しきれなかった、様々な種類の構造物振動を低減・抑制でき、その結果として、良好な露光性能を実現することができる。

【0196】

また、本発明に係る装置の別の局面では、露光装置を装置設置基礎に設置する

際の基礎になる基礎構造物の振動を、能動制振装置で低減・抑制する構成としている。これは、装置設置基礎振動自体を低減することと等価になるため、装置設置基礎側から除振装置を介して露光装置に伝達する振動の量を低減・抑制することを可能にし、装置の露光性能の向上に寄与する。この装置・手法は、従来の、能動除振装置を用いて実現される装置設置基礎振動のフィードフォワード制御のように、その発生メカニズムに不確定要因の多い信号のフィードフォワード制御という形態をとるのではなく、フィードバック制御、あるいは、確定的な動作をするステージ装置の動作信号に基くフィードフォワード制御、という形態をとるため、信頼性の高い振動制御動作を実現することができるというメリットもある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態に係る能動制振装置を一部斜視にて表わした構成図である。

【図2】 図1の直動制振ユニットの構成を表わす図である。

【図3】 図1の直動アクチュエータと慣性負荷の斜視図である。

【図4】 本発明の第1の実施形態に係る能動制振装置に適用される非線形関数の一例を示す図である。

【図5】 本発明の第1の実施形態に係る能動制振装置に適用される補償演算手段の一構成例を表わす図である。

【図6】 本発明の第1の実施形態に係る能動制振装置に適用される前向き補償演算手段の一構成例を表わす図である。

【図7】 本発明の第1の実施形態に係る能動制振装置に適用される非線形関数と1次関数の関係を表わす図である。

【図8】 本発明の第2の実施形態および第3の実施形態に係る能動制振装置を一部斜視にて表わした構成図である。

【図9】 本発明に係る装置のシミュレーション結果をグラフとして示した図である。

【図10】 本発明の第3の実施形態に係る能動制振装置を備える半導体露光装置の一構成例を表わす立面図である。

【図11】 本発明の第4の実施形態を表わす構成図である。

【図12】 本発明の実施形態に係る回転制振ユニットの構成を表わす図である。

【図13】 本発明の実施形態に係る回転アクチュエータとライホイールの斜視図である。

【図14】 本発明の第5の実施形態に係る装置を表わす構成図である。

【図15】 半導体露光装置における構造物の振動モードの一例を説明するための斜視図である。

【図16】 半導体露光装置における構造物の振動モードの別例を説明するための斜視図である。

【図17】 直動型能動制振装置に使用する鉛直方向のアクチュエータを例示する斜視図である。

【図18】 直動型能動制振装置に使用する水平方向のアクチュエータを例示する斜視図である。

【図19】 本発明に係る装置を用いた半導体デバイスの生産システムをある角度から見た概念図である。

【図20】 本発明に係る装置を用いた半導体デバイスの生産システムを別の角度から見た概念図である。

【図21】 ユーザインタフェースの具体例である。

【図22】 デバイスの製造プロセスのフローを説明する図である。

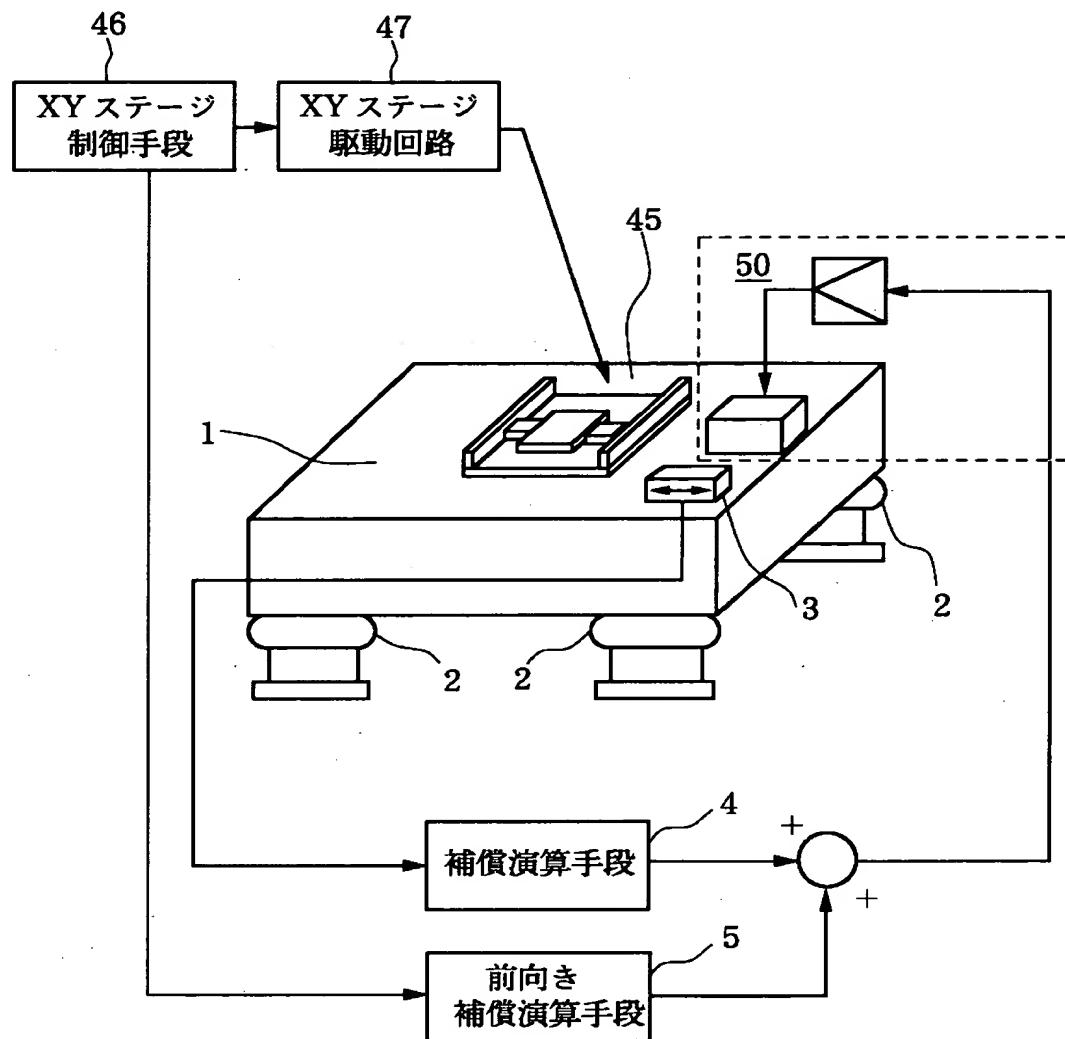
【図23】 ウエハプロセスを説明する図である。

【符号の説明】 1：除振台、2：支持機構、3：振動検出手段、3c：回転振動検出手段、4，4c：補償演算手段、5，5c：前向き補償演算手段、6：構造物、45：XYステージ、46：XYステージ制御手段、46b：ステージ制御手段、47：XYステージ駆動回路、50：直動制振ユニット、51：直動アクチュエータ、52：慣性負荷、53：ベース部材、54：ストップ、55：駆動回路、60：回転制振ユニット、61：回転アクチュエータ、62：ライホイール（回転要素）、63：駆動回路、91：基礎構造物、92：除振装置、93：ステージ定盤、94：ウエハステージ、95：レチクルステージ、96

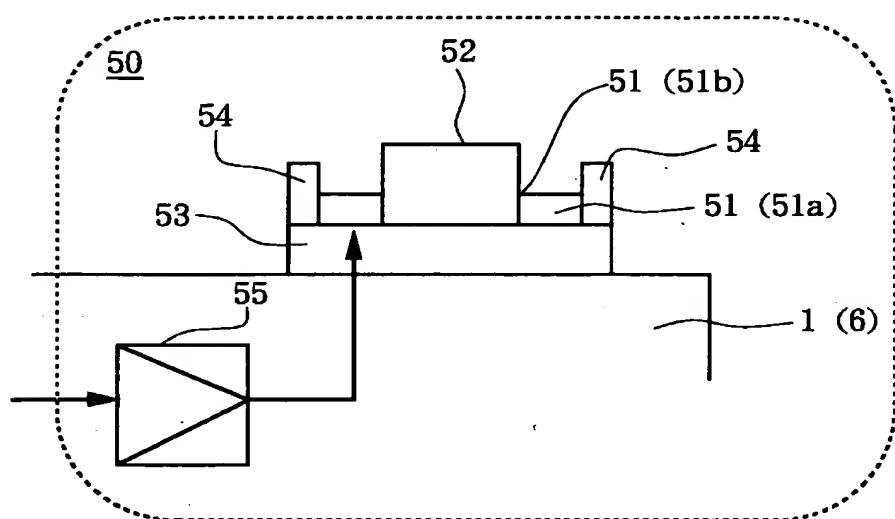
：光学レンズシステム、97：鏡筒定盤、98：照明光学系、99：定盤、100：装置設置基礎、101：ベンダの事業所、102、103、104：製造工場、105：インターネット、106：製造装置、107：工場のホスト管理システム、108：ベンダ側のホスト管理システム、109：ベンダ側のローカルエリアネットワーク（LAN）、110：操作端末コンピュータ、111：工場のローカルエリアネットワーク（LAN）、200：外部ネットワーク、201：製造装置ユーザの製造工場、202：露光装置、203：レジスト処理装置、204：成膜処理装置、205：工場のホスト管理システム、206：工場のローカルエリアネットワーク（LAN）、210：露光装置メーカー、211：露光装置メーカーの事業所のホスト管理システム、220：レジスト処理装置メーカー、221：レジスト処理装置メーカーの事業所のホスト管理システム、230：成膜装置メーカー、231：成膜装置メーカーの事業所のホスト管理システム、401：製造装置の機種、402：シリアルナンバー、403：トラブルの件名、404：発生日、405：緊急度、406：症状、407：対処法、408：経過、410、411、412：ハイパーリンク機能。

【書類名】 図面

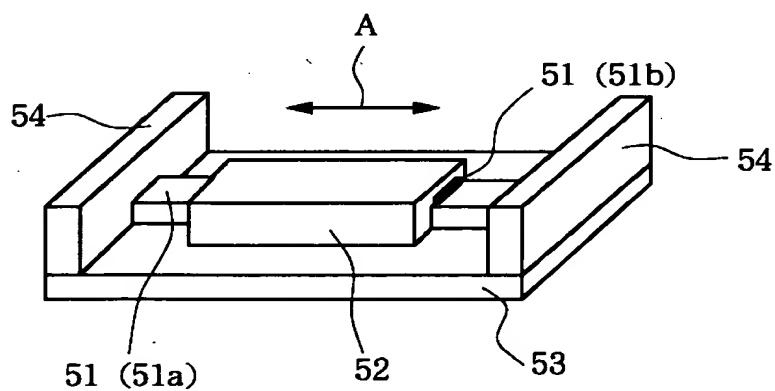
【図1】



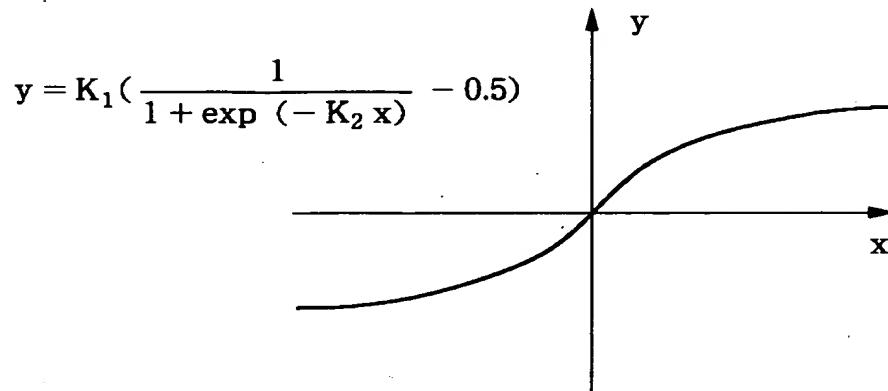
【図2】



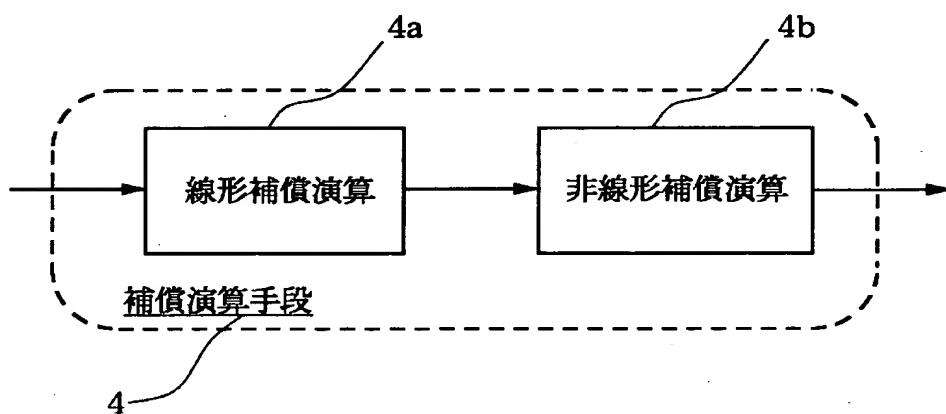
【図3】



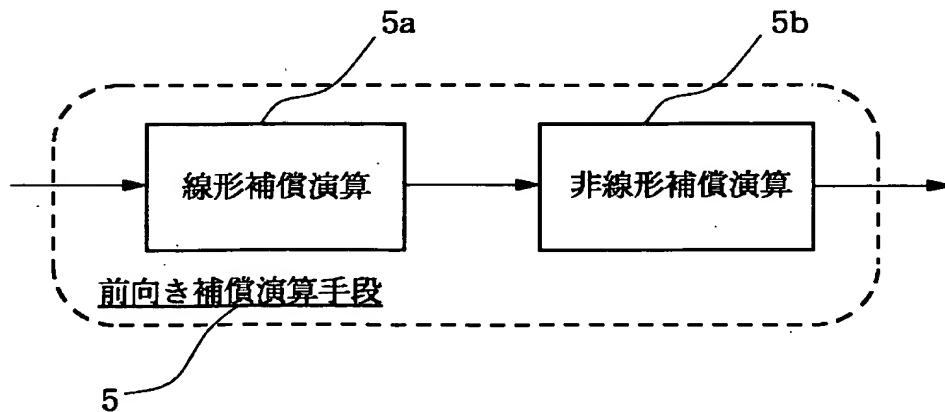
【図4】



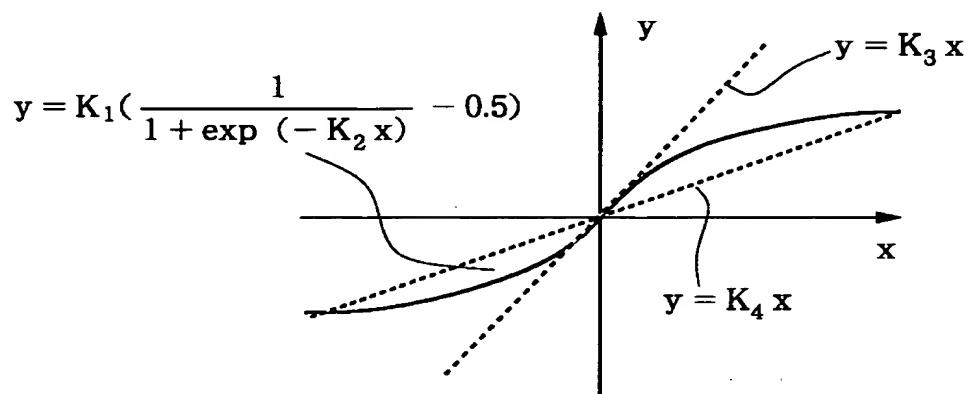
【図5】



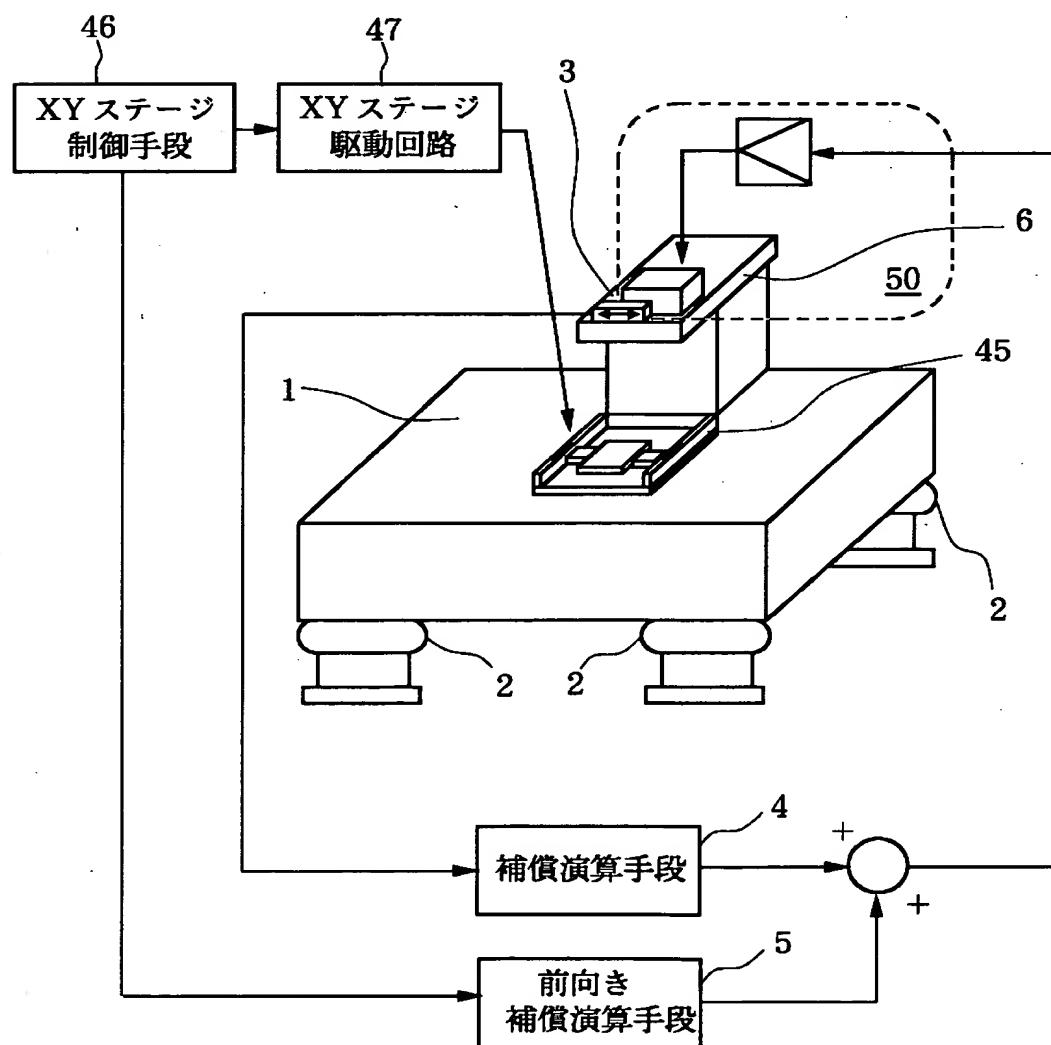
【図6】



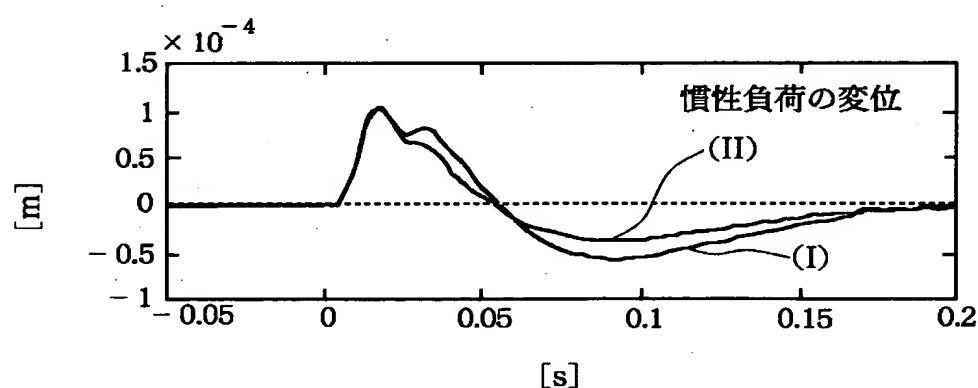
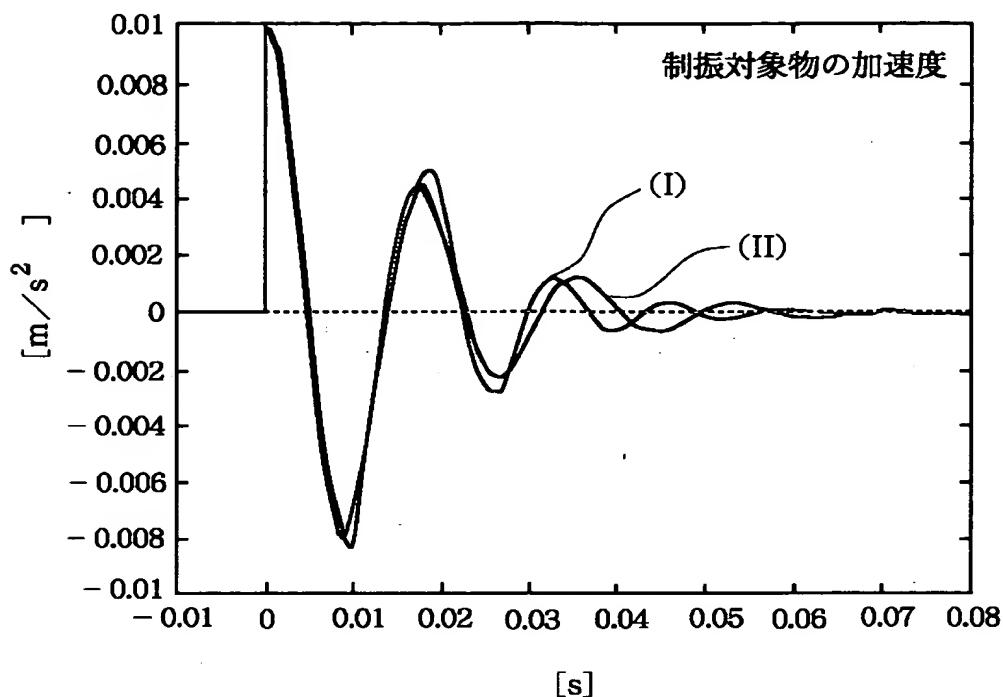
【図7】



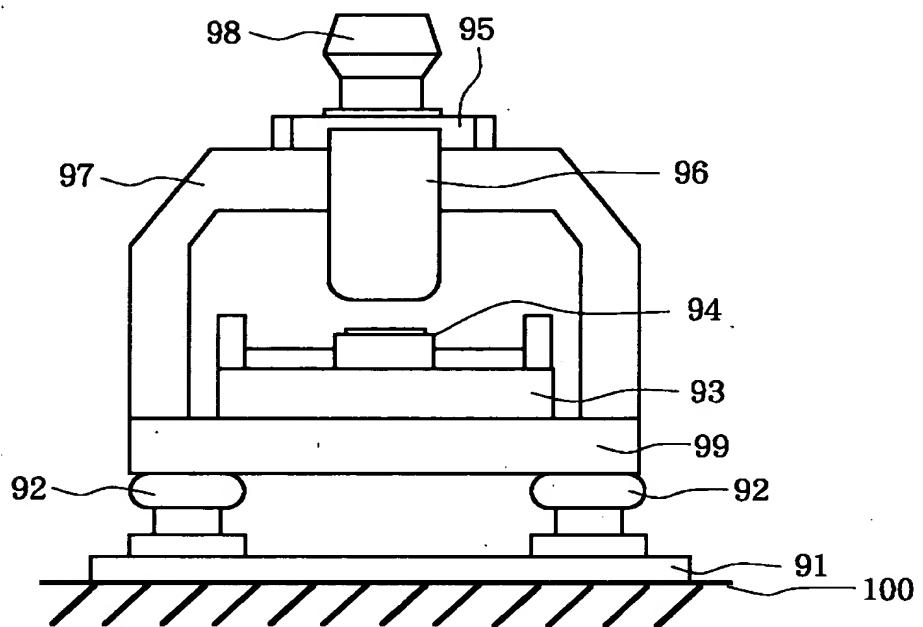
【図8】



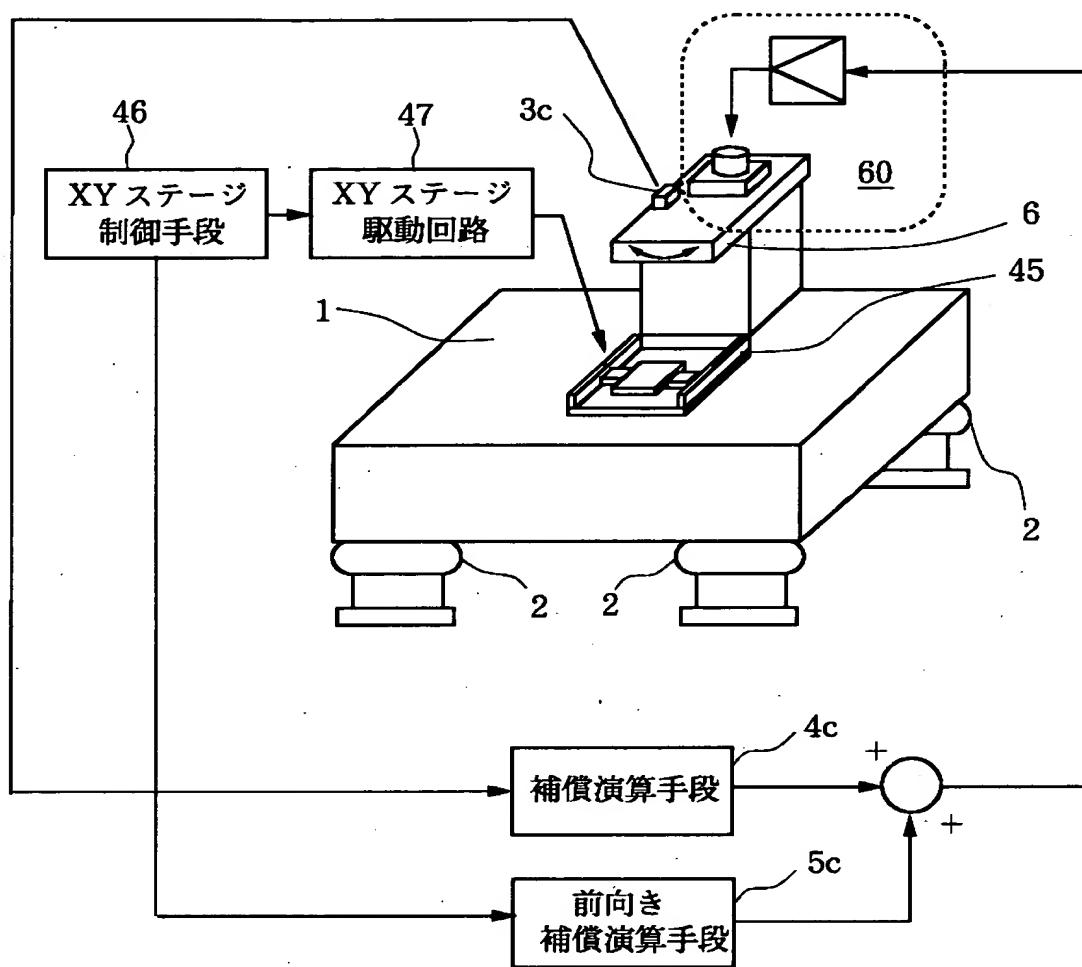
【図9】



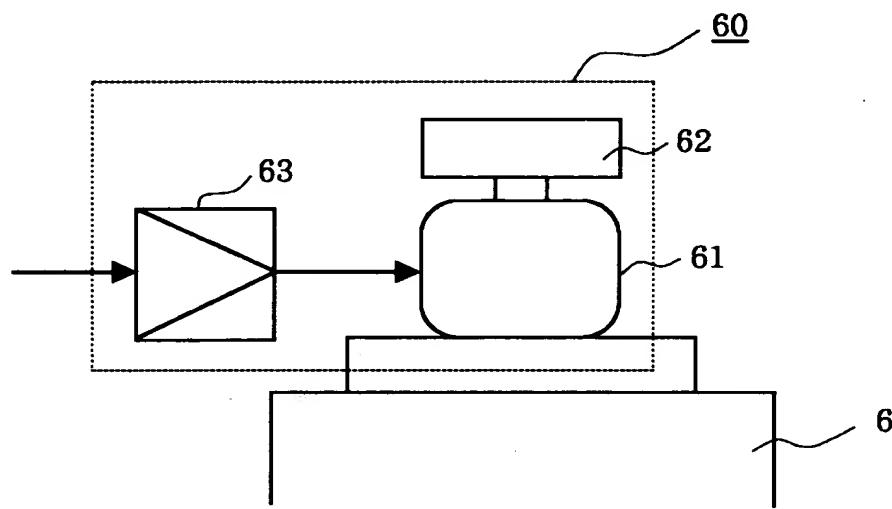
【図10】



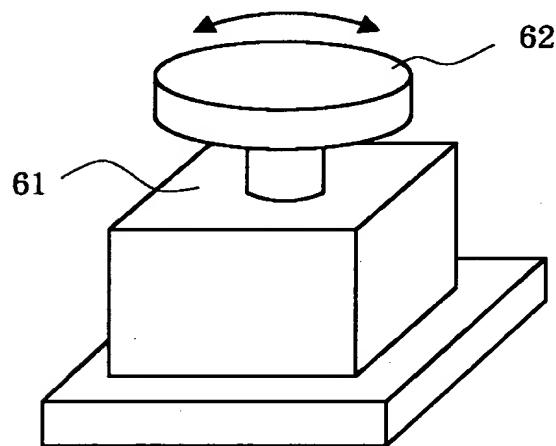
【図11】



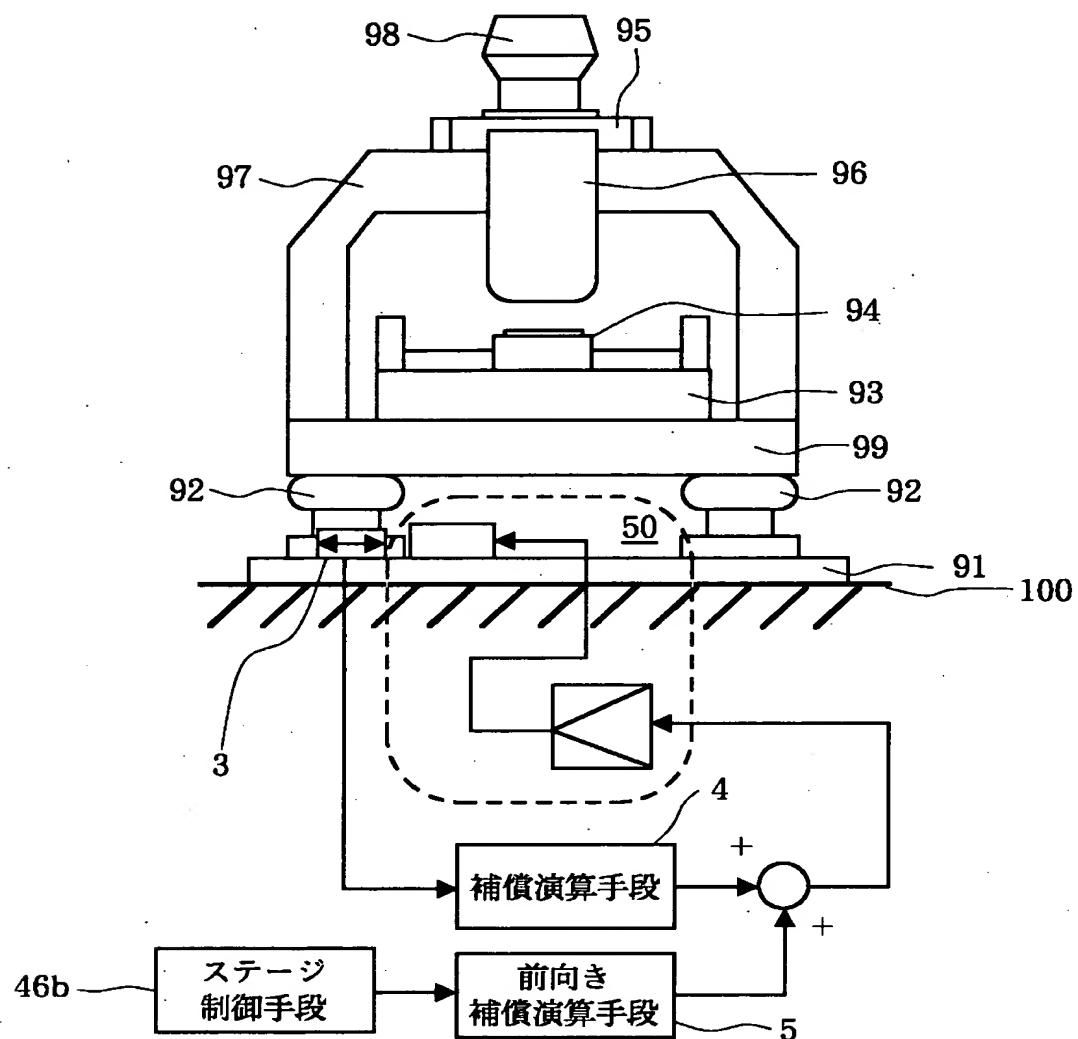
【図12】



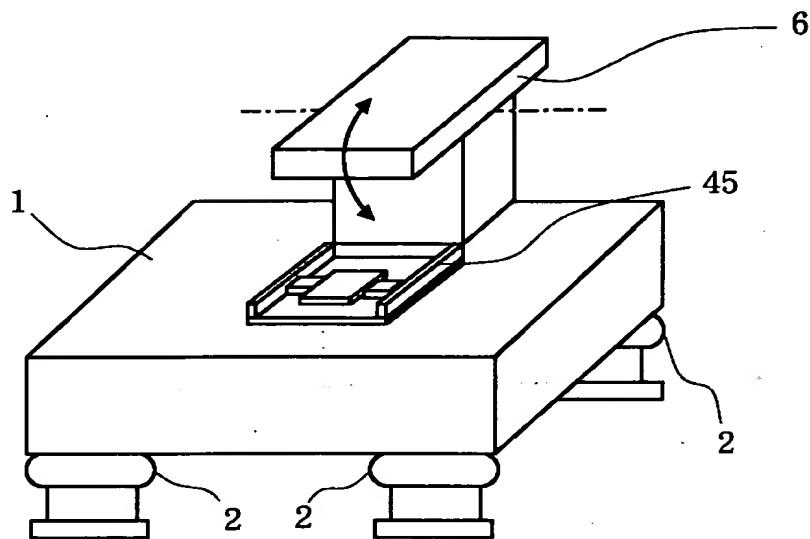
【図13】



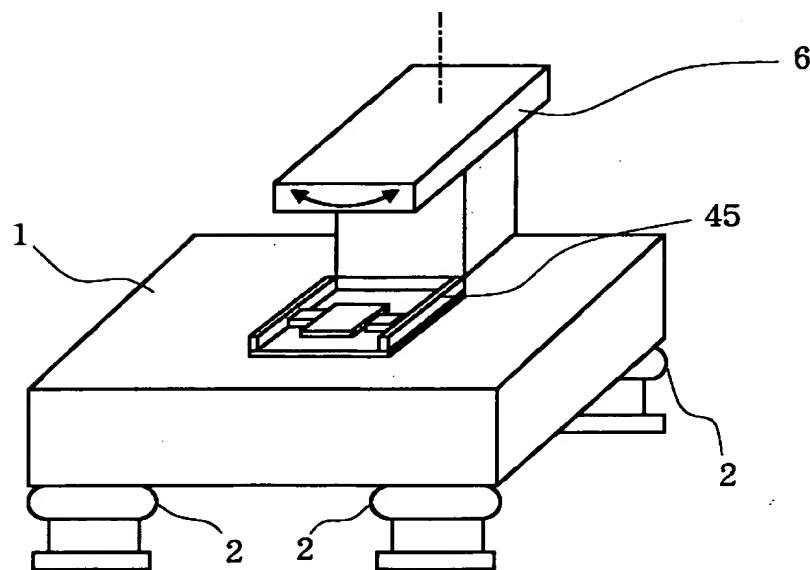
【図14】



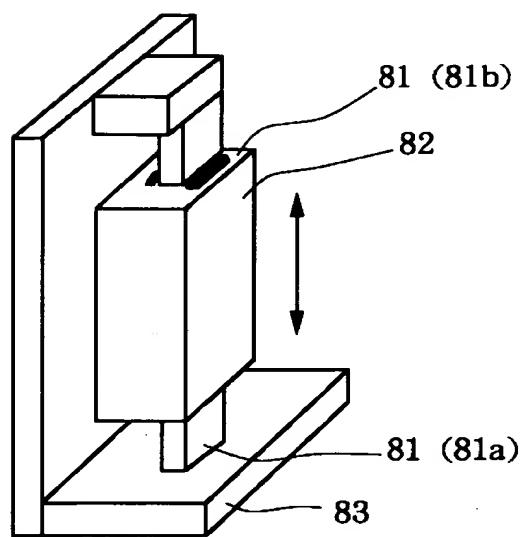
【図15】



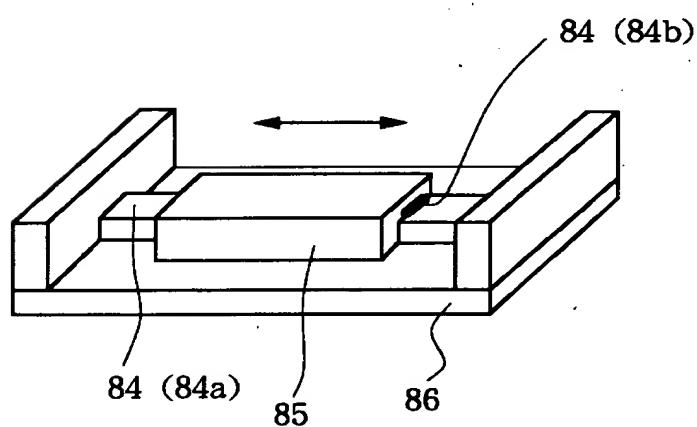
【図16】



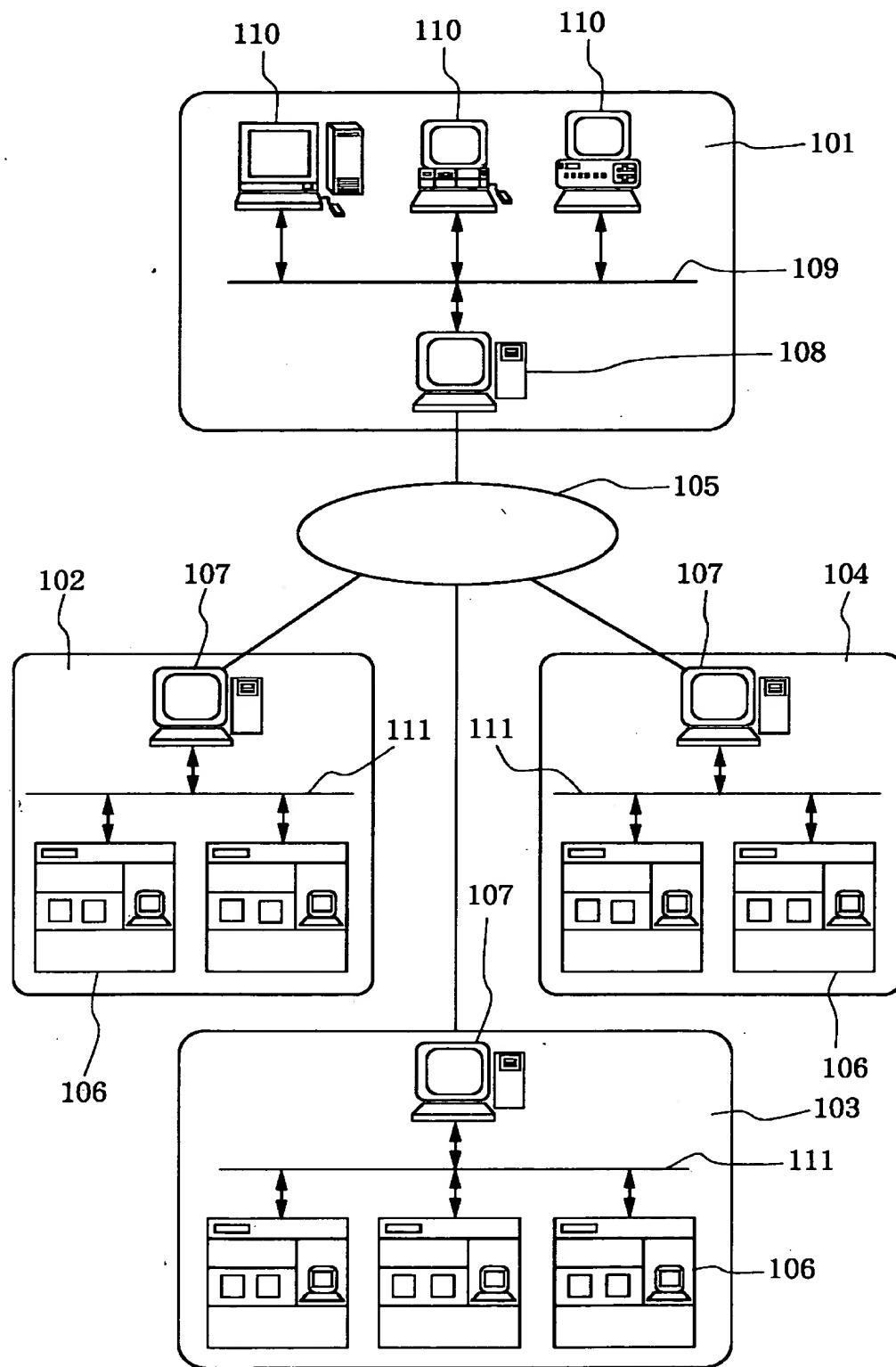
【図17】



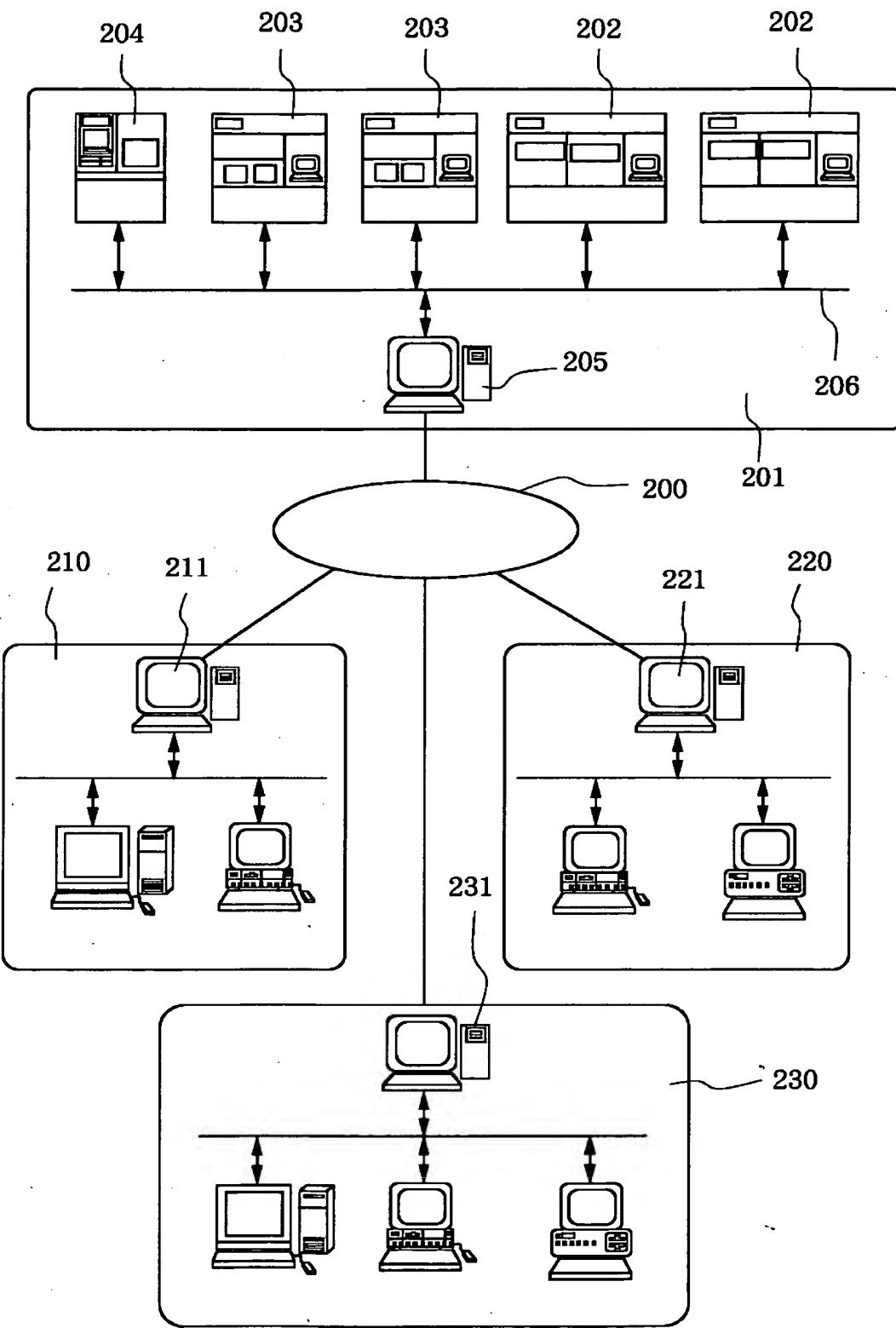
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

URL <http://www.maintain.co.jp/db/input.html>

トラブルDB入力画面

発生日 404

機種 401

件名 403

機器S/N 402

緊急度 405

症状 406

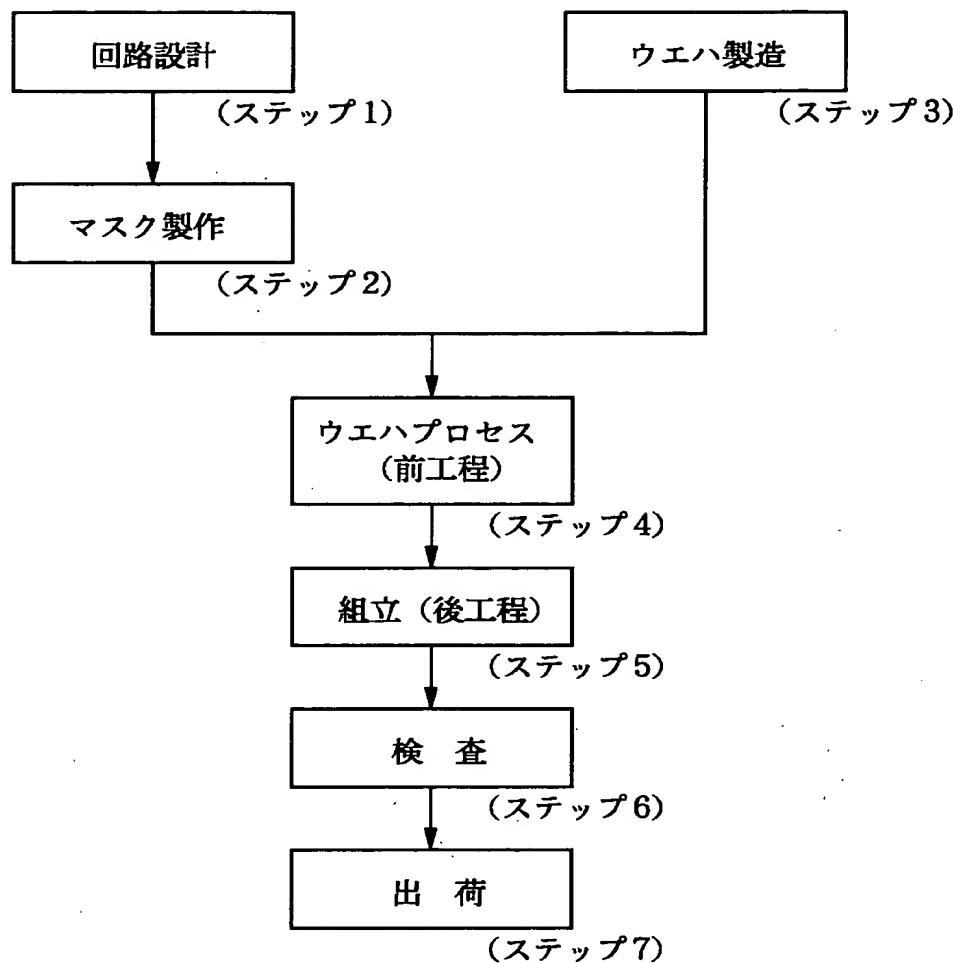
対処法 407

経過 408

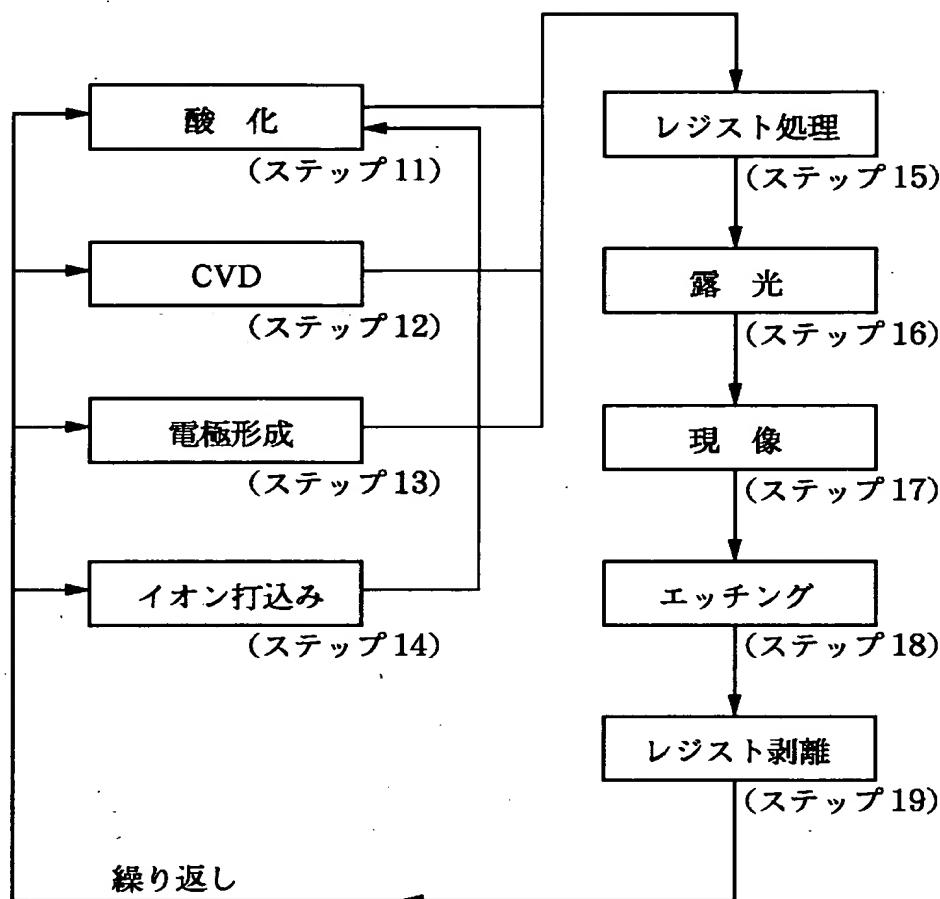
410 411

結果一覧データベースへのリンク 412 ソフトウェアライブラリ 操作ガイド

【図22】



【図23】



ウエハプロセス

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体露光装置等の精密機器において、除振台や、それに搭載される装置、構造物に発生する剛体振動、構造共振などの振動を、安定的に、かつ迅速に制振する。

【解決手段】 制振対象物である構造物6に固定されたアクチュエータを用いて慣性負荷を駆動する際に発生する駆動反力により、構造物6に制御力を加える直動制振ユニット50を備え、振動検出手段3で検出された構造物6の振動に相当する信号、構造物6の加振源となる駆動手段を備えた機器の動作状態、またはその制御手段からの信号、の少なくとも一方に対して補償演算を施して得た信号に基き、該直動制振ユニット50を制御することで、構造物6の振動を低減・抑制する。前記補償演算には、非線形演算、または非線形演算を含む演算処理を適用することができる。

【選択図】 図8

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2001-002436
受付番号	50100016472
書類名	特許願
担当官	野口 耕作 1610
作成日	平成13年 5月 2日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	000001007
【住所又は居所】	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
【氏名又は名称】	キヤノン株式会社

【代理人】

【識別番号】	100086287
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門2丁目8番1号 虎ノ門電気ビル 伊東内外特許事務所
【氏名又は名称】	伊東 哲也

【選任した代理人】

【識別番号】	100103931
【住所又は居所】	東京都港区虎ノ門2-8-1 虎ノ門電気ビル伊東内外特許事務所
【氏名又は名称】	関口 鶴彦

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号

氏 名 キヤノン株式会社